



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

Iluminação pública: Estudo de caso Gama

**Autor: Igor Veneroso do Nascimento
Orientador: Prof. Dra. Paula Meyer Soares**

**Brasília, DF
2020**



Igor Veneroso

**Iluminação pública: uma proposta de eficiência energética aplicada à cidade
do Gama - DF**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dra. Paula Meyer Soares

**Brasília, DF
2020**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação

Nascimento, Igor.

Título da Monografia: Iluminação pública: uma proposta de eficiência energética aplicada à cidade do Gama - DF / Igor Veneroso do Nascimento. Brasília: UnB, 2020.

Monografia Engenharia de Energia – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2020. Orientação: Paula Meyer
Soares.

1. Iluminação Pública. 2. Eficiência Energética. 3. Mercado livre de energia. Soares, Paula. Dra.

Iluminação Pública: Estudo de caso Gama

Igor Nascimento

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 20/11/2020 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dra.: P aula Meyer Soares , UnB/ FGA
Orientador

Prof. (Titulação): Nome do Professor, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. (Titulação): Nome do Professor, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2020

Esse trabalho é dedicado às crianças adultas
que quando pequenas, sonharam em se
tornar cientistas.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, minha mãe que sempre acreditou em mim, ao meu irmão e ao meu padrasto por me auxiliarem nessa jornada. Sou muito grato a minha namorada, Danielle Caroline, que está comigo desde o começo dessa jornada e que me ajudou nos momentos mais difíceis.

Sou grato a empresa júnior Matriz Engenharia de Energia e o movimento empresa júnior por me proporcionar diversas oportunidades de aprendizado.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas que me acompanharam nos momentos felizes, divertidos e nos momentos difíceis: Anderson Silva, Gabriel, Luiz, Thiago, Blenda, Emilly, Gustavo, Samuel, João, Camila e todos os demais.

Reservo esse parágrafo para agradeço a minha orientadora Paula pela oportunidade de desenvolver este estudo e por todo auxílio prestado. Também gostaria de agradecer a todos os professores e docentes por compartilharem sua experiência e conhecimentos. Eu também sou grato por todos os momentos bons e ruins que me fizeram crescer como estudante, profissional e como pessoa.

O homem é a medida de todas as coisas.
Protágoras.

RESUMO

A iluminação pública do Gama possui uma potência instalada de aproximadamente 6 MW, o custo com energia elétrica para prestação do serviço de iluminação pública mensal médio estimado para o ano de 2019 foi de aproximadamente 1,157 milhões de reais. Visando reduzir o custo com energia elétrica da região administrativa do Gama, este trabalho tem como principal objetivo avaliar a viabilidade econômico-financeiro da substituição das luminárias atuais por luminárias de LED. Para avaliar a viabilidade do projeto de eficiência energética foram determinados indicadores financeiros como TIR, payback, VPL e taxa de retorno para diversos cenários. Foram adotadas premissas e utilizados dados obtidos por meio de uma pesquisa documental referente ao ano de 2019 para determinar os indicadores financeiros, foi utilizado o método de Monte Carlo para avaliar o risco das premissas adotadas e encontrar o VPL mais provável do investimento. Os resultados encontrados mostram que o projeto de eficiência energética apresenta indicadores favoráveis para a execução do mesmo, considerando 1 anos de execução do projeto, um percentual de troca de luminárias de 20% e sem reinvestimentos, temos um VPL de cerca de 10 milhões de reais. O projeto apresenta um índice de lucratividade de 3,35, uma taxa de retorno interno (TIR) de 19% e uma payback descontado de 9 anos. Os indicadores financeiros mostram que o projeto de eficiência energética é economicamente e financeiramente viável. Além de promover economia financeira o projeto de eficiência energética irá promover melhoria da qualidade de vida da população da região administrativa, reduzindo a criminalidade e permitindo que a população desfrute do espaço público.

Palavras-chave: Iluminação pública, eficiência energética, indicadores financeiros, análise de risco.

ABSTRACT

Gama's public lighting has an installed capacity of approximately 6 MW, or the estimated average monthly electricity cost for the distribution of public lighting services for 2019 was approximately 1.157 million reais. In order to reduce the cost of electricity in the administrative region of Gama, this work has as main objective to evaluate the economic and financial feasibility of replacing the current fixtures with LED fixtures. To assess the feasibility of the energy efficiency project, financial indicators were determined, such as IRR, playback, NPV and rate of return for various scenarios. Assumptions were adopted and data obtained through documentary research for the year 2019 were used to determine the financial indicators, the Monte Carlo method was used to assess the risk of the assumptions adopted and find the most likely NPV of the investment. The results found show that the energy efficiency project presents favorable indicators for its execution, considering 1 years of execution of the project, a percentage of changing luminaires of 20% and without reinvesting, we have a NPV of around 10 million of reais. The project has a profitability index of 3.35, an internal rate of return (IRR) of 19% and a return of 9 years. The financial indicators show that the energy efficiency project is economically and financially viable. In addition to promoting economic economics, the energy efficiency project will promote the improvement of the quality of life of the region's population, define crime and allow the population to enjoy the public space.

Keywords: Public lighting, energy efficiency, financial indicators, risk analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Simulação da Lei dos Grande Números

Figura 2: Histograma

Figura 3: Histograma vida útil das luminárias (h)

Figura 4: Espectro Eletromagnético;

Figura 5: Interação da luz com o globo ocular;

Figura 6: Cores que compõe a luz branca;

Figura 7: Curva de distribuição luminosa;

Figura 8: Luxímetro medindo a Iluminância;

Figura 9: Grandezas e unidades de iluminação

Figura 10: Temperatura de cor correlata

Figura 11: Foto com diferentes IRC

Figura 12: Estrutura do LED

Figura 13: Estrutura da Luminária LED

Figura 14: Iluminação em uma sala de cirurgia

Figura 15: Iluminação em um restaurante

Figura 16: Iluminação pública com luminárias de LED

Figura 17: Poluição Luminosa

Figura 18: Fator que causa Poluição Luminosa que são os dois modos à esquerda, péssimo e ruim

Figura 19: Etiqueta de eficiência energética PROCEL

Figura 20: Relação entre agentes e ambientes de contratação

Figura 21: Componentes da tarifa do fornecimento de energia

Figura 22: Composição da TUSD

Figura 23: Reajuste tarifário anual

Figura 24: Representação gráfica de montante e vigência

Figura 25: Representação de modulação

Figura 26: Representação de modulação flat

Figura 27: Flexibilidade dos volumes mensais

Figura 28: Energia comercializada no MCP

Figura 29: Detalhamento da adesão ao mercado livre de energia

Figura 30: Custo financeiro

Figura 31: Método da bisseção

Figura 32: Histogramas para 1 ano de execução do projeto

Figura 33: Histogramas para 2 anos de execução do projeto

Figura 34: Histogramas para 3 anos de execução do projeto

Figura 35: Histogramas para 4 anos de execução do projeto

Figura 36: Histogramas para 5 anos de execução do projeto

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Indicadores Região Administrativa Gama

Quadro 2: Comparativo entre índice de reprodução de cores (IRC), eficiência luminosa e vida média

Quadro 3: Medidas de eficiência energética

Quadro 4: Rendimento das Principais Fontes de Produção de Luz

Quadro 5: Tarifas vigentes da empresa distribuidora CEB, setembro/2020

Quadro 6: Luminária por tecnologia e faixa de potência

Quadro 7: Luminárias da Região Administrativa do Gama

Quadro 8: Proposta de substituição

Quadro 9: Preços luminárias e mão de obra

Quadro 10: Reajuste Tarifário homologados pela ANEEL

Quadro 11: Valor das bandeiras

Quadro 12: Ocorrência das bandeiras tarifárias por mês (janeiro/2015-setembro2020)

Quadro 13: Média ponderada por mês (janeiro/2015 a setembro/2020)

Quadro 14: VPL para diversos cenários (sem reinvestimento)

Quadro 15: VPL para diversos cenários (com reinvestimento)

Quadro 16: Índice de lucratividade (Sem reinvestimento)

Quadro 17: Índice de lucratividade (Com reinvestimento)

Quadro 18: TIR (sem reinvestimento)

Quadro 19: TIR (com reinvestimento)

Quadro 20: Payback descontado (sem reinvestimento)

Quadro 21: Payback descontado (com reinvestimento)

Quadro 22: VPL pico e dispersão para 1 ano de execução do projeto

Quadro 23: VPL pico e dispersão para 2 anos de execução do projeto

Quadro 24: VPL pico e dispersão para 3 anos de execução do projeto

Quadro 25: VPL pico e dispersão para 4 anos de execução do projeto

Quadro 26: VPL pico e dispersão para 5 anos de execução do projeto

LISTA DE SIGLAS

ABRACEEL - Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ACL - Ambiente de Contratação Livre
ACR - Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica
BMDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPM - *Capital Asset Pricing Model*
CCEAL - Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente de Contratação Livre
CCEAR- Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCEI - Contratos de Compra de Energia Incentivada
CEB – Companhia de Energia de Brasília
CIP - Contribuição de Iluminação Pública
CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal
COFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONPET - Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CONPET - Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados
CONSERVE - Programa de Conservação de Energia Elétrica
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
ESCOS - Energy Service Company
ESS - Encargos de Serviço do Sistema
IBOVESPA - Índice da Bolsa de Valores de São Paulo
ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços
IGP-M - Índice Geral de Preços do Mercado
IL – Índice de Lucratividade
IP – Iluminação Pública
IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IRC - Índice de Reprodução de Cores
LED - Light Emission Diode
MAE - Mercado Atacadista de Energia Elétrica

MME- Ministério de Minas e Energia
MPC - Mercado de Curto Prazo
MVM - Multivapor metálico
NTIP - Norma Técnica de Iluminação Pública
ONS -Operador Nacional do Sistema
OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PASEP - Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIS - Programa de Integração Social
PLD - Preço de Liquidação das Diferenças
PROÁCOOL - Programa Nacional do Álcool
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROINFA- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SAC - Sistema de amortização constante
SAC - Sistema de Amortização Constante
SEB -Setor Elétrico Brasileiro
SFH - Sistema Financeiro de Habitação
SIN -Sistema Interligado Nacional
SMF - Sistema de Medição para Faturamento
TE – Tarifa de Energia
TIR – Taxa Interna de Retorno
TMA – Taxa Mínima de Atratividade
TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição de Energia
VBA - Virtual Basic for Applications
VM - Vapor de Mercúrio
VPL – Valor Presente Líquido
VS - vapor de sódio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	199
1.1 Justificativa	199
1.2 Objetivo Geral	20
1.2.1 A Objetivos Específicos	Erro! Indicador não definido.0
2 METODOLOGIA DO TRABALHO	21
2.1 Região estudada	22
1.2 Metodologia de Monte Carlo	24
3 APARATO CONCEITUAL E TÉCNICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS LUMINOTÉCNICOS	30
3.1 Grandezas e unidades de iluminação	32
3.2 Eficiência Energética em projetos luminotécnicos	35
3.3.1 LED	36
3.3.1.1 Luminária de LED	37
3.3.1.2 Luminária de LED para iluminação pública	39
4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CONCEITOS E PROGRAMAS PÚBLICOS	44
4.1 Eficiência energética	45
4.2 Eficiência Energética no Mundo	46
4.3 Eficiência Energética no Brasil	47
4.3.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)	48
4.3.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)	48
4.3.3 Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados	50
4.4 Eficiência Energética na Iluminação Pública	51
5 ILUMINAÇÃO PÚBLICA	54
5.1 Origem da Iluminação Pública	54
5.2 Iluminação Pública no Brasil	54
5.3 A relevância da iluminação pública	55
5.4 Iluminação Pública no Distrito Federal	56
5.5 Parque de iluminação pública do DF	60
5.5 Iluminação pública no Gama	62
5.6 Regulamentação vigente	63
6 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	66
6.1 Origem do setor elétrico brasileiro	66
6.2 Agentes Operacionais do Setor Elétrico no Brasil	68
6.3 Ambientes de Contratação Energética	69
6.3.1 Ambiente de Contratação Regulado (ACR)	69
6.3.2 Ambiente de Contratação Livre (ACL)	70
6.4 Tipos de energia	73
6.5 Aspectos tarifários	74
6.5.1 Bandeiras tarifárias	76
6.6 Grupos tarifários	77
6.7 Reajuste anual e revisão tarifária periódica	78
6.8 O Mercado Livre de energia no Brasil	79
6.8.1 As Vantagens do Mercado Livre ne Energia	80
6.9 Contratos no Mercado Livre	81
6.90 Mercado de Curto Prazo e Balanço Energético	84
6.11 Processo de adesão ao mercado livre	85
7 Resultados e Discussão	87
7.1 Análise da viabilidade econômico- financeira do projeto de eficiência energética	87
7.2 Luminárias	88
7.3 Determinação do consumo mensal de energia elétrica	89
7.4 Tarifa de energia e reajustes	90
7.5 Bandeiras Tarifárias	91
7.6 Impostos vigentes	92
7.7 Investimento	93
7.8 Financiamento	94
7.8.1 Custo de capital de terceiros	94
7.8.2 Sistema de amortização constante (SAC)	95

8.9 Rendimentos	97
8.10 Indicadores financeiros do projeto	97
8.10.1 Valor Presente Líquido (VPL)	97
8.10.2 Índice de Lucratividade (IL)	100
8.10.3 Taxa mínima de atratividade (TMA)	102
8.10.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)	104
8.10.5 Payback descontato	107
8.10 Análise de risco de investimento em eficiência energética	109
8.11 Monte Carlo	110
8 CONCLUSÃO	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXO	131
Anexo 01: Coeficientes (Shapiro-Wilk)	131
Anexo 02: Valores críticos (Shapiro-Wilk)	134
Anexo 02: Simulações em excel	136

INTRODUÇÃO

A Iluminação pública é o serviço que tem como objetivo fornecer luz ou clareza durante o período noturno. A Iluminação pública é essencial para a qualidade de vida dos moradores. Além de estar diretamente ligada à segurança pública no trânsito, a iluminação pública previne a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, facilita a hierarquia viária, orienta percursos e aproveita melhor as áreas de lazer.

A melhoria da qualidade dos sistemas de iluminação pública traduz-se em uma melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio, e o lazer noturno, ampliando a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica, contribuindo, assim, para o desenvolvimento social e econômico da população.

A responsabilidade pela prestação do serviço de iluminação pública é da prefeitura municipal, art. 30, inciso V da Constituição Federal. O capital utilizado para prestar o serviço de iluminação pública é arrecadado por meio da Contribuição de Iluminação Pública – CIP ou a Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública – Cosip, paga pelos consumidores cativos.

Em 2019, foram arrecadados aproximadamente R\$ 212 milhões para custeio, manutenção e investimento no serviço de iluminação no Distrito Federal. Cerca de 180 milhões são destinados ao pagamento da energia elétrica, 18 milhões para manutenção da rede e 14 milhões para investimentos em melhorias e projetos de eficiência energética (Metrópoles, 2020).

Dada a relevância da iluminação pública para a qualidade de vida de um município e devidos os altos custos para manter o serviço de iluminação pública, este trabalho apresenta uma análise da viabilidade econômico-financeira de um projeto de eficiência energética (luminotécnico). A partir de uma modelagem financeira foi possível encontrar indicadores financeiros favoráveis, como um VPL de cerca de 10 milhões, uma TIR de 19% e um índice de lucratividade de 3,35, considerando uma substituição de apenas 20% das luminárias e um tempo de execução do projeto de 1 ano.

Justificativa

Apesar da importância da iluminação pública para a qualidade de vida de uma população, apenas 3,8% das luminárias do parque de iluminação pública da região administrativa do Gama são de LED. Devido a baixa eficiência das luminárias atuais, grande parte do valor arrecadado por meio da CIP é destinado ao pagamento do consumo de energia elétrica, reduzindo o capital destinado a manutenção e melhoria do sistema de iluminação pública.

1.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo econômico relativo à substituição das luminárias atuais por luminárias de LED da região administrativa do Gama.

1.2.1 Objetivos específicos

- Apresentar os conceitos teóricos e técnicos relacionados a luminotécnica;
- Apresentar a regulação vigente relacionada à Iluminação pública;
- Analisar, avaliar e descrever a viabilidade econômico-financeira do projeto de eficiência energética;
- Analisar, avaliar e descrever os principais risco de um projeto de eficiência energética.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para a realização do estudo foi utilizado referencial teórico que trata sobre assunto relativo à iluminação pública e a migração de consumidores do mercado cativo ao mercado livre, assim como estudos técnicos e econômicos.

Foram realizadas buscas bibliográfica em várias base de dados como *Scopus*, *Google Scholar*, Minha Biblioteca da Universidade de Brasília com o uso de palavras-chaves, “eficiência” e/ou “iluminação pública”; “energia”; “LED”; “economia da energia” de modo que pudesse ser levantado referencial bibliográfica (livros, teses, dissertações, artigos de periódicos) de modo a embasar a parte teórica e técnica de avaliação de eficiência energética aplicados à Região Administrativa do Gama.

Foi consultado o site da Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN afim de coletar o perfil o habitante da Região Administrativa do Gama assim como as principais atividades econômicas dessa localidade.

Foi realizada uma pesquisa exploratória sobre a distribuição da vida útil das luminárias. De acordo com VERGARA (2016), toda investigação exploratória realiza-se em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Não comporta hipóteses que, todavia, poderão surgir durante ou ao final da pesquisa.

O uso de dados relativos à luminárias e lâmpadas trata-se de uma pesquisa documental obtida a partir de documentos obtidos na Companhia de Energia de Brasília, a CEB, bem como da Região Administrativa do Gama. VERGARA (2016) afirma que a “Investigação documental é a realizada em documentos conservados no interior de órgãos públicos e privados de qualquer natureza, ou com pessoas: registros, anais, regulamentos, circulares, ofícios, memorandos, balancetes, comunicações informais, filmes, microfilmes, fotografias, videoteipe, dispositivos de armazenagem por meios ópticos, magnéticos e eletrônicos em geral, diários, cartas pessoais e outros.”.

Foram obtidos por meio dessa investigação documentos e regulamentos relativos aos espaços públicos (praças, avenidas, ruas, etc) da Região Administrativa do Gama. A partir daí foram elaborados cenários possíveis relacionados à substituição das luminárias atuais por *LED*, considerando 10%, 20%, 30%, 40% 50% até 100% da substituição dessas e o custo efetivo e prazo para a obtenção do retorno desse investimento.

A construção desses cenários baseou-se em informações contidas em planilhas de custos de equipamentos luminotécnicos (lâmpadas, luminárias, mão-de-obra para a realização do serviço etc) de tal modo que pudéssemos calcular o tempo de retorno desses investimentos, o volume financeiro obtido com o retorno obtido pelo alcance de eficiência energética, etc.

O detalhamento dessas informações está descrito a seguir de modo que possamos compreender os valores obtidos de retorno (VALOR PRESENTE LÍQUIDO), tempo de retorno (PAYBACK) e a taxa de retorno (TIR) dessa iniciativa em substituir as luminárias da referida Região Administrativa.

2.1 Região estudada

Foi selecionado a região administrativa do Gama, localizada ao sul do DF, com uma população estimada de 132 mil habitantes com renda per capita de R\$ 1.346,27, sendo pesquisa realizada em 2020. As principais atividades econômicas concentram-se nos serviços e comércio (CODEPLAN, 2020). A região administrativa do Gama foi selecionada devido a facilidade de se obter os dados necessários para realizar o estudo.

A cidade foi fundada em 1966 para acolher as famílias de uma invasão situada na barragem do Paranoá, os moradores oriundos da Vila Planalto e da Vila Amauri. Posteriormente abrigou habitantes do Setor de Indústria de Taguatinga.

A cidade transformou-se na Região Administrativa - RA II em 1989 por meio da Lei n.º 49/89 e do Decreto n.º 11.921/89 que, fixou os novos limites das regiões administrativas do Distrito Federal.

Em 2019, foi realizado um estudo pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN). O estudo determinou indicadores demográficos, socioeconômico, sobre os domicílios e acesso à rede de abastecimento, Quadro 1.

O estudo também coletou informações relacionadas a escolaridade dos habitantes com mais de 25 anos. Foi constatado que 65% da população possui pelo menos o ensino médio completo, e que o percentual de pessoas que são analfabetos ou sem escolaridade é de 3,3% (CODEPLAN, 2019).

Em 2019, 70% da população do Gama possui entre 15 a 59 anos, 18% dos habitantes possuem idade ou menor que 14 anos e 12% da população possui 60 ou mais anos de idade (CODEPLAN, 2019).

Também foi constatado que 43,8% dos habitantes trabalham na própria região administrativa, 31,36% trabalham no Plano Piloto e 24,85% trabalham em outros locais ou não informaram (CODEPLAN, 2019).

Quadro 1- Indicadores Região Administrativa Gama

Demografia		
Total de Habitantes	132.466	
Total de Homens	62.987	48%
Total de Mulheres	69.479	52%
Socioeconômico		
Renda per Capita	1.346,27	
Conectados à Internet	119.600	90,30%
Habitantes por Automóvel	3,86	
Domicílios		
Total de Domicílios	39.223	
Habitantes por Domicílio	3,38	
Renda Domiciliar per Capita	1.604,06	
Ligados à Rede de Abastecimento		
Água	38.083	97%
Esgoto	37.052	94%
Energia Elétrica	39.003,00	99%

Fonte: CODEPLAN, 2019

A partir dos dados referentes ao parque de iluminação pública da região administrativa do Gama-DF, foram simulados os custos relativos à substituição das luminárias atuais por luminárias de *LED*. Foi utilizado o método de fluxo de caixa descontado para avaliar a viabilidade econômico-financeira do projeto de eficiência energética.

Os dados relativos aos custos embutem o valor das luminárias, mão de obra e reposição destas ao longo da duração dos projetos, cuja duração conforme foi dita varia de 1 a 5 anos.

As simulações permitem verificar os efeitos da economia de consumo de energia obtido a medida em que as substituições forem sendo efetivadas. As simulações realizadas no presente estudo consideraram dois cenários. O primeiro cenário considera o reinvestimento das economias proveniente do projeto de eficiência energética, o segundo não considera o reinvestimento. A partir das simulações foi possível verificar a diferença obtida em termos de valores e de rentabilidade entre os dois cenários.

No capítulo de Discussão dos Resultados foi apresentado em detalhes os resultados alcançados assim como as premissas adotadas referente a substituição das lâmpadas e luminárias na Região Administrativa do Gama no DF.

2.2 Metodologia de Monte Carlo

Ao longo da execução do estudo foram adotadas premissas, há um risco associado a adoção dessas premissas. Para avaliar o risco associado as premissas adotadas foi utilizado Método de Monte Carlo.

As técnicas de simulação se utilizam de modelos, que carregam em si os parâmetros a serem analisados. Os modelos representam, ainda que de forma limitada, a realidade, ou seja, o ambiente e os condicionantes envolvidos. A realidade é retratada através dos parâmetros associados, e essa representação é limitada, pois é inviável contabilizar todos os fatores externos envolvidos. Tudo que está relacionado à natureza a ser estudada causa uma influência, em maior ou menor grau. Assim, os modelos tentam englobar os parâmetros mais significativos ao resultado analisado. Quanto maior o número de elementos considerados na construção do modelo, mais próximo este fica da realidade. Contudo, é interessante saber balancear o modelo, de forma a desconsiderar os parâmetros pouco significativos, que apenas complicariam a compilação do modelo.

Foi analisado os parâmetros de reajuste do valor da tarifa de energia elétrica e tempo de vida útil das luminárias, visto que, tais parâmetros possuem grande influência no fluxo de caixa do projeto de eficiência energética.

O método de Monte Carlo sorteia os valores dos parâmetros onde o sorteio obedece a uma distribuição. Foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk para verificar se as

amostras da tarifa de energia seguem uma distribuição normal, o método de Shapiro-Wilk será apresentado futuramente.

Ao se realizar a simulação de Monte Carlo é importante considerar a importância da lei dos Grandes Números, ou seja, o número de iterações deve ser suficientemente grande. Foi utilizado uma equação matemática para determinar o tamanho da amostra.

2.2.1 Tamanho da amostra

O número de iterações utilizado no método de Monte Carlo deve ser suficientemente grande. Para determinar o tamanho da amostra (Cunha, 2016) foi utilizado a equação a seguir:

$$n = \left(\frac{Z_y \sigma}{\varepsilon} \right)^2 \quad (12)$$

Onde:

n = número de iterações;

Z_y = Variável padrão;

ε = erro amostral.

Considerando um grau de confiança (γ) de 90% e uma margem de erro (ε) igual a 2% da média real. Foi possível determinar o número mínimo de iterações necessárias, para o parâmetro tarifa de energia elétrica seria necessária realizar 1 iteração, isso ocorre pois o desvio padrão (σ) é baixo. Para o parâmetro tempo de vida útil seria necessário 406 iterações. Visando garantir o grau de confiança e a margem de erro e buscando uma melhor análise dos dados foi adotado para a realização do método de Monte Carlo 500 iterações.

É importante ressaltar que pela Lei dos Grandes Números quanto maior o número de iterações, mais a média do parâmetro tenderá ao valor esperado, ou seja, tende para a probabilidade teórica (Silva; Neto, 2019). A Figura 1, apresenta que quanto maior o n , mais a média amostral tende para o valor teórico 3.

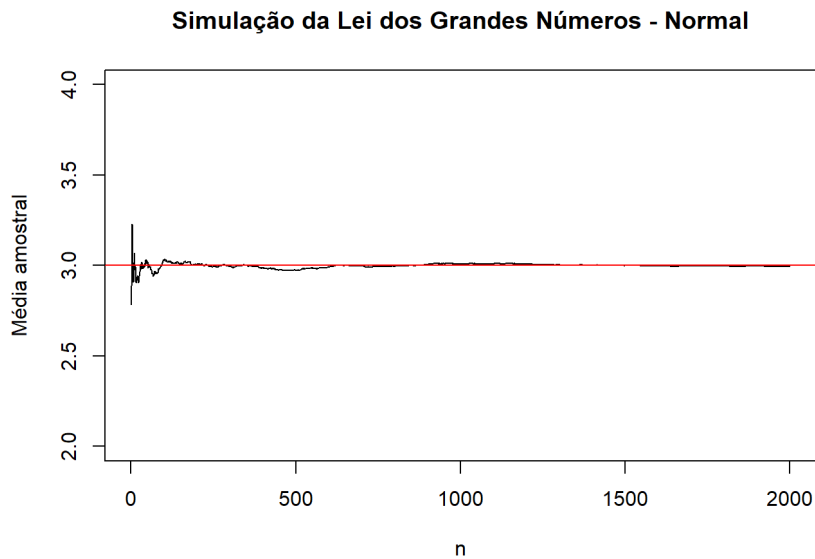


Figura 1: Simulação da Lei dos Grande Números

Fonte: Silva, 2019

2.2.2 Teste de Shapiro-Wilk

O teste Shapiro-Wilk, calcula uma variável estatística (W) que investiga se uma amostra aleatória provém de uma distribuição normal (Portal Action, 2020).

O teste de Shapiro-Wilk adota duas hipóteses:

H_0 : A amostra provém de uma população Normal

H_1 : A amostra não prove provém de uma população Normal

O teste Shapiro-Wilk, proposto em 1965, é baseado na estatística W dada por:

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

Em que:

x_i = valores da amostra ordenados (x_1 é o menor)

b = constante, determinada pela equação x e $x+1$:

$$b = \sum_{i=1}^{n/2} a_{n-i+1} (x_{(n-i+1)} - x_{(i)}) \quad \text{se } n \text{ é par} \quad (13)$$

$$b = \sum_{i=1}^{(n+1)/2} a_{n-i+1} (x_{(n-i+1)} - x_{(i)}) \quad \text{se } n \text{ é ímpar} \quad (14)$$

Em que:

a_{n-i+1} são constantes geradas pelas médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra de tamanho n de uma distribuição Normal. Seus valores, tabelados, são apresentados no Anexo 01.

Após determinar o valor de W e escolher o nível de significância, geralmente é utilizado 0.05. Podemos rejeitar a hipótese H_0 caso $W_{\text{calculado}} < W_{\alpha}$. Os valores críticos da estatística W de Shapiro-Wilk são dados no anexo 02 (Portal Action, 2020).

Para o parâmetro tarifa de energia foi considerado a amostra entre 2019 e 2015. Ao longo desse período houve 5 reajustes ordinários e 2 reajustes extraordinários. Foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para verificar se a amostra segue uma distribuição normal. O valor estatístico de W calculado para o nível de significância de 0.05 foi de 0,9624 e o valor crítico tabelado é de 0.803. Logo, não temos evidências para rejeitar a hipótese nula, e os dados são, pelo menos aproximadamente, provenientes de uma distribuição Normal segundo o teste de Shapiro-Wilk, com alfa nível de significância.

2.2.4 Distribuição dos parâmetros adotados

Conforme constatado pelo teste de Shapiro-Wilk não temos evidência para rejeitar a hipótese nula, e os dados são, pelo menos aproximadamente, provenientes de uma distribuição Normal. Assim, foi utilizado a ferramenta geração de número aleatório para gerar uma amostra de 500 valores, os parâmetros utilizados para gerar a amostra foram: distribuição normal, média de 9,03% e um desvio padrão de 0,10081.

A Figura 2, apresenta o histograma da amostra gerada. Um histograma consiste em um gráfico de barras que demonstra uma distribuição de frequências, onde a base de cada uma das barras representa uma classe, e a altura a quantidade ou frequência absoluta com que o valor da classe ocorre.

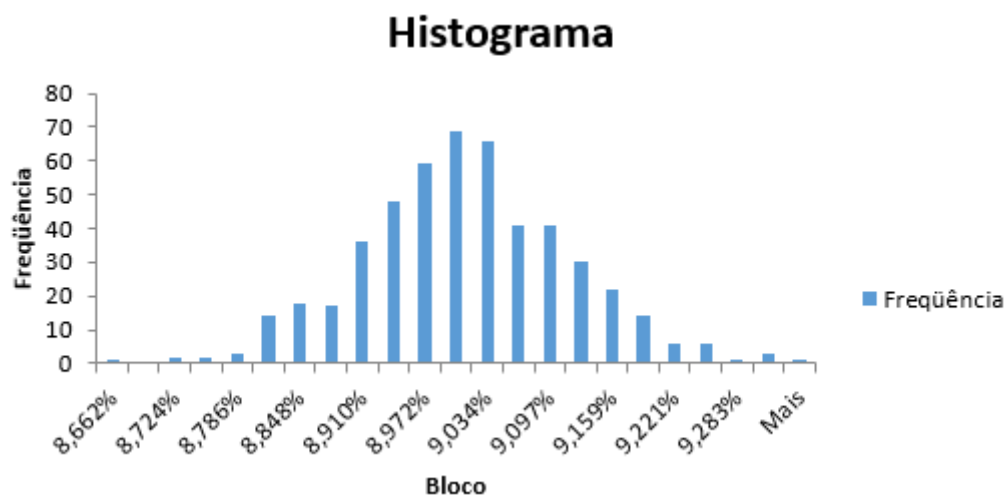


Figura 2: Histograma variação da tarifa de energia elétrica

Fonte: Elaboração do autor (2020)

Não foi possível encontrar em referenciais bibliográficos ou em documentos disponibilizados por fabricantes informações relacionadas a distribuição de probabilidade da vida útil das luminárias. A única informação disponibilizada nos catálogos dos fabricantes de luminárias é a vida útil em horas.

Devido a falta de informações foi adotada uma distribuição uniforme para a vida útil das luminárias, adotando como parâmetro a vida útil máxima e mínima das luminárias homologadas pela CEB informados pelos fabricantes. A distribuição uniforme é a mais simples distribuição contínua, entretanto uma das mais importantes e utilizadas dentro da teoria de probabilidade.

Foi utilizado a ferramenta Geração de número aleatório do Excel para gerar a amostra de 500 valores, para isso foi considerado uma distribuição uniforme e os parâmetros de mínimo e máximo são, respectivamente, 60000 e 100000 horas.

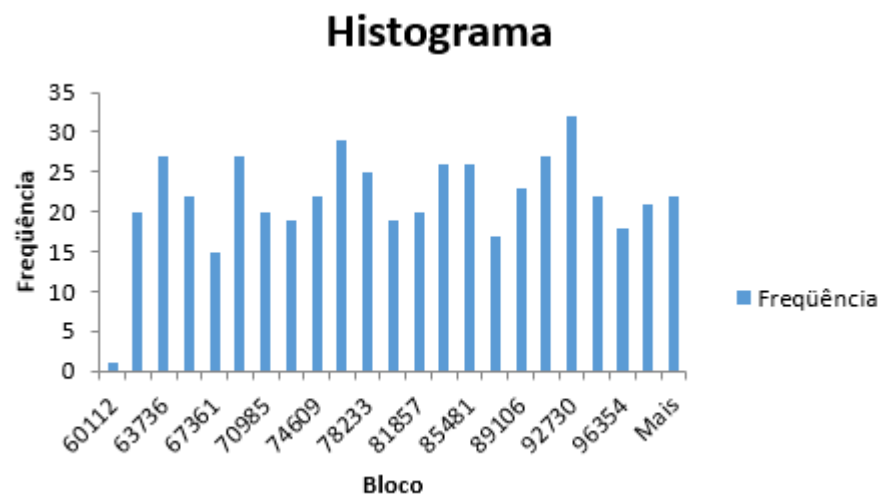


Figura 3: Histograma vida útil das luminárias (h)

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

3. APARATO CONCEITUAL E TÉCNICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS LUMINOTÉCNICOS

A luz é um elemento fundamental e praticamente indispensável no cotidiano das pessoas. A luz possibilita a execução de atividades com estabilidade, eficiência e produtividade. Um ambiente bem iluminado proporciona segurança e conforto aos seus usuários. Dada a importância da luz para a sociedade esse capítulo irá apresentar o aparato conceitual da luz e como a eficiência energética pode ser empregada na iluminação de ambientes.

Podemos definir luz como a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual, o olho humano é sensível a somente uma faixa de comprimento de onda (370 nm (violeta) - 750 nm(vermelho)), as radiações eletromagnéticas dentro da faixa apresentado são denominadas de luz. A Figura 4 apresenta o espectro eletromagnético, sendo possível observar a faixa de comprimento de onda denominada luz.

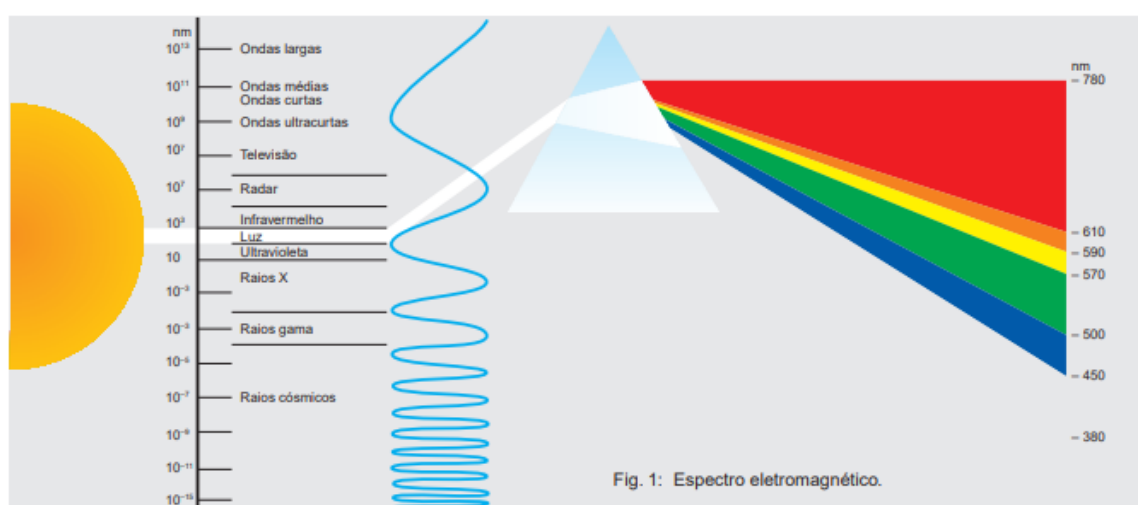


Figura 4: Espectro Eletromagnético

Fonte: OSRAM,2020

A visão humana é fruto da interação da luz com o globo ocular, Figura 5, a luz que incide sobre um objeto é refletida até nossos olhos. Por meio da visão os seres vivos aprimoram a percepção do mundo, a percepção de cor de um objeto está diretamente relacionada com a luz que incide sobre ele. Uma maçã sob uma luz branca aparenta ser de cor vermelha, entretanto se utilizarmos um

filtro para remover a porção do vermelho da fonte de luz, a maçã refletiria pouca luz parecendo totalmente negra.

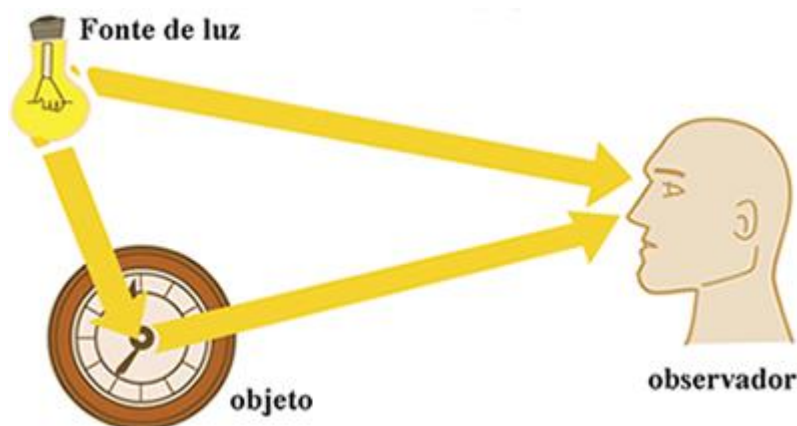


Figura 5: Interação da luz com o globo ocular

Fonte: Mundo Educação, 2020

Conforme visto anteriormente a cor de um objeto está relacionado com a luz que incide sobre ele, a luz branca é composta pelas cores primárias, vermelho, verde e azul (Figura 6), sendo possível refletir a luz vermelha da maçã mencionada anteriormente, a combinação de duas cores primárias dosadas em diferentes quantidades permite obtermos outras cores de luz (amarelo, laranja, violeta etc).



Figura 6: Cores que compõe a luz branca

Fonte: OSRAM,2020

Devido a importância da luz para o cotidiano das pessoas surgiu o termo luminotécnica. Podemos definir luminotécnica como o estudo da aplicação de iluminação artificial tanto em espaços interiores como exteriores. A utilização de

equipamento com tecnologias mais avançadas para iluminação artificial ou o uso da luz natural em projetos luminotécnicos são formas de obter maior eficiência energética.

3.1 Grandezas e unidades de iluminação

Para a realização de um projeto de luminotécnica é necessário compreender os conceitos e unidades de iluminação. Assim, a seguir serão apresentadas as principais grandezas e unidades utilizadas para a realização de um projeto luminotécnico.

Conforme mencionado anteriormente, luz é a radiação eletromagnética dentro do comprimento de onda visível. A radiação total emitida por uma fonte luminosa, dentro desse comprimento de onda, é denominada de fluxo luminoso Φ (ANEEL, 2020), no Sistema Internacional de Unidades a unidade para o fluxo luminoso é o lúmen [lm].

Uma fonte luminosa não é capaz de irradiar luz uniformemente em todas as direções. Assim é necessário medir o valor dos lumens emitidos em cada direção. A unidade utilizada para medir a intensidade luminosa é a candela (cd). A maioria das lâmpadas não apresenta uma distribuição uniforme em todas as direções, sendo comum o uso das curvas de distribuição luminosa, chamadas CDL's.

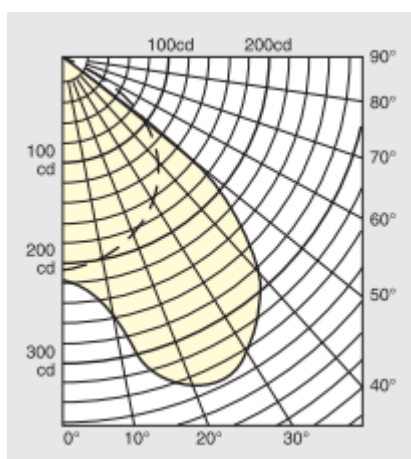


Figura 7: Curva de distribuição luminosa

Fonte: OSRAM, 2020

A relação entre o fluxo luminoso incidente em uma superfície e a superfície sobre a qual este incide é denominado de iluminância. A Figura 8 demonstra a

medição da iluminância por um luxímetro, equipamento utilizado para medir a iluminância. A unidade utilizada para medir a iluminância é o LUX.

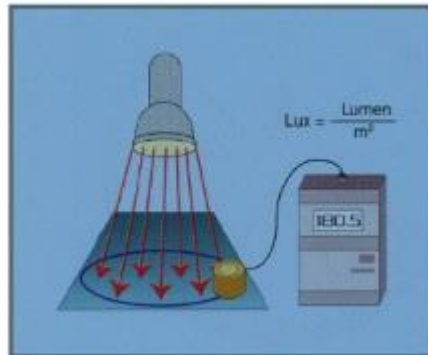


Figura 8: Luxímetro medindo a Iluminância

Fonte: Silva, 2017

A intensidade luminosa refletida por uma superfície é denominada de luminância, medida em candelas por metro quadrado (cd/m^2), é por meio da luminância que os seres humanos enxergam.

A Figura 9 apresenta uma ilustração de fluxo luminoso, intensidade luminosa, iluminância e luminância.

Fluxo Luminoso (lm)	Intensidade Luminosa (cd)
Iluminância ($lx=lm/m^2$)	Luminância (cd/m^2)

Figura 9: Grandezas e unidades de iluminação

Fonte: OSRAM,2020

As fontes de luz podem emitir luz de aparência de cor entre “quente” e “fria”, temperatura de cor correlata (TCC). As cores “quentes” possuem uma aparência

avermelhada ou amarelada e as cores “frias” são azuladas. No entanto, as aparências “quente” e “fria” têm sentido inverso ao da TCC, pois quanto mais alta a TCC, mais fria é a sua aparência e quanto mais baixa a TCC, mais quente é a sua aparência. A temperatura de cor correlata é expressa em kelvin (K) (IFSC, 2020).

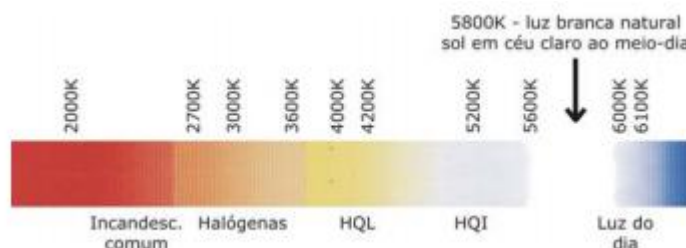


Figura 10: Temperatura de cor correlata

Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina, 2020

Um parâmetro utilizado para avaliar as fontes de luz artificial é o Índice de Reprodução de Cores (IRC). O IRC mede quanto a luz artificial se aproxima do natural. Quanto maior o IRC, melhor, sendo este um fator preponderante para comparação de fontes de luz com a mesma TCC, ou para a escolha da lâmpada. A Figura 11 apresenta a diferença de uma foto para diferentes IRCs.



Figura 11: Foto com diferentes IRC

Fonte: HODARI, 2020

Outro parâmetro utilizado em fontes de luz artificial é a eficiência luminosa (η_w), a eficiência luminosa é a razão entre o fluxo luminoso emitido (lm) e a potência consumida pela lâmpada (W), sendo medida em lúmen por watt (lm/W).

3.2. Eficiência Energética em projetos luminotécnicos

A capacidade de utilizar a menor quantidade de energia possível para a geração da maior quantidade de luz necessária pode ser definida como eficiência energética, em projetos luminotécnicos. Entretanto, a luz gerada não deve prejudicar o conforto e a satisfação do usuário, assim como o desenvolvimento da tarefa visual exigida (Salomão, 2010).

Com o objetivo de alcançar um projeto luminotécnico energeticamente eficiente são empregados mecanismos como sensores de presença, minuterias, *dimmers* e comutadores fotoelétricos, tais dispositivos são utilizados o objetivo de minimizar o desperdício de energia elétrica (Salomão, 2010).

Os sensores de presença são dispositivos eletrônicos que aciona o sistema de iluminação após detectar movimento no ambiente e é desligado após um determinado tempo, ajustável, sem movimentação (Mazzaroppi, 2007).

As minuterias são equipamentos que desligam as lâmpadas sob seu comando após um tempo determinado, são comumente utilizadas em *hall* e escadas. As minuterias mantêm as lâmpadas acessas por um período de tempo após o acionamento pelo usuário (Sardá, 2018).

O *dimmer* é um variado de tensão, permitindo que a luminosidade da lâmpada varie entre zero e seu máximo. Sua utilização é importante em locais onde há a presença de iluminação natural e artificial, podendo a artificial ser dimerizada (manualmente) quando a natural suprir as necessidades. Tal dispositivo é comumente empregado em luminárias próximas às janelas (Sardá, 2018).

Os comutadores fotoelétricos também chamados de relés fotoelétricos são sistemas que promovem a integração entre iluminação artificial e natural. Ela funciona por meio de uma fotocélula, que envia um sinal elétrico em função da iluminância detectada, caso a o nível de iluminação natural seja insuficiente para iluminar o ambiente, a iluminação artificial é acionada. Os relés fotoelétricos são bastante recomendados para a iluminação pública, pátios industriais e em ambientes com iluminação natural (Sardá, 2018).

Outra maneira de economizar energia elétrica é por meio da integração entre luz natural e artificial, projetos de edificações desenvolvidos considerando a busca da luz natural, chegaram a alcançar a iluminância requisitada nos interiores de 80% a

90% das horas diurnas do ano economizando consideráveis quantidades de energia elétrica (Vianna, 2001). O aproveitamento da iluminação natural pode reduzir o consumo total de energia elétrica de um edifício em até 35% (Souza, 1995).

A busca pela eficiência energética em projetos luminotécnicos gera economia financeira e reduz os impactos ambientais, gerando ambientes mais eficientes, sustentáveis e menos poluentes.

3.2.1. LED

O *LED* (do inglês Light Emission Diode, diodo emissor de luz) é um dispositivo eletrônico semicondutor, que quando polarizado diretamente, dentro do semicondutor ocorre a recombinação de lacunas e elétrons. Essa recombinação exige que a energia armazenada por esses elétrons seja liberada na forma de calor ou luz devido à passagem da corrente elétrica na junção anodo para o catodo (Novicki, 2018).

O *LED* é capaz de produzir mais de luz visível do que calor, quando comparado com uma lâmpada incandescente. Ao contrário do *LED* as lâmpadas incandescentes possuem filamento, responsável por converter a maior parte da energia elétrica em energia térmica (calor). Por essa característica o *LED* se torna mais eficiente que as fontes de iluminação tradicionais (Novicki, 2018).

O *LED* é composto basicamente por uma pastilha semicondutora sob uma superfície refletora em forma de concha, envolvida em uma resina que direciona o feixe luminoso.

O *LED* passou a ser utilizado na iluminação pública em alguns países desenvolvidos. Alguns fabricantes encontraram no *LED* uma oportunidade e após investir nessa tecnologia desenvolveram produtos mais rentáveis e de alto desempenho.

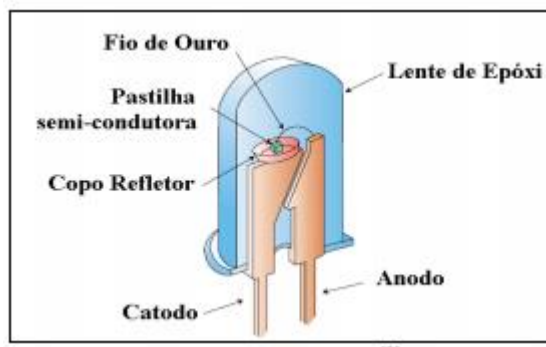


Figura 12: Estrutura do LED

Fonte: NOVICKI, 2008

No ano de 2008, o consumo de energia elétrica para a iluminação pública foi de 10.624 GWh/ano, aproximadamente 3,96% do montante de energia elétrica consumida no país (O setor elétrico, 2020). A substituição das tecnologias utilizadas atualmente (Vapor de Sódio, Vapor de Mercúrio, Incandescentes), pela tecnologia de LED, irá reduzir o consumo de energia elétrica promovendo melhorias tanto na viabilidade financeira-econômica do parque de iluminação pública como reduzindo os impactos ambientais devido ao uso mais eficiente de energia elétrica.

3.2.1.1 Luminária de LED

Basicamente o conjunto que compõe uma luminária a LED conforme a Fig. 10, é composto pelos seguintes equipamentos: LED (1), Fonte de alimentação (2), Lentes e Dissipadores de Calor (3) (Novicki, 2018).

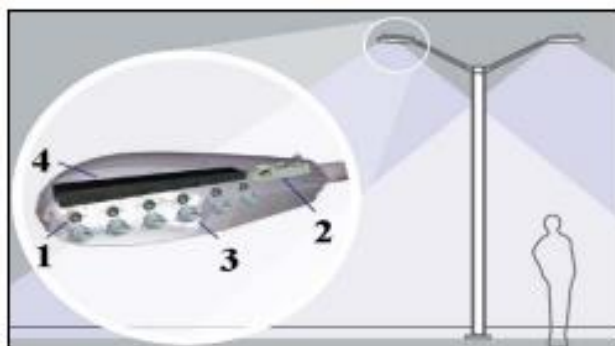


Figura 13: Estrutura da Luminária LED

Fonte: NOVICKI, 2008

Em um projeto luminotécnico o projetista deverá estipular qual será o modelo de LED mais adequado para a finalizada do ambiente. Cada modelo de LED pode se diferenciar pelos seguintes parâmetros: eficiência, tamanho, temperatura de cor e operação. A Figura 14 apresenta uma sala de cirurgia, podemos observar que é utilizado lâmpadas com temperatura de cor fria, entre 5.000k até 6.500k, são recomendadas para áreas de atenção, como salas de cirurgia e indústrias, e há uma iluminância elevada. Em contra partida na Figura 15 é apresentado um restaurante onde é utilizado uma temperatura de cor quente, entre 2.600k e 3.000k, recomendadas para lugares que querem proporcionar uma sensação de aconchego (quartos, salas de modo geral, banheiros, varandas, espaço gourmet, churrasqueira.) e baixa iluminância.



Figura 14: Iluminação em uma sala de cirurgia
Fonte: Equipe Care,2020



Figura 15: Iluminação em um restaurante

Fonte: Lumilandia,2020

Após determinar o *LED* a ser utilizado o projetista deve estipular a fonte de alimentação. Para determinar a fonte de alimentação parâmetros como tensão de entrada, proteções contra sobretensão, reguladores de luminosidades e fatores de correção deverão ser considerados.

A lente é utilizada para obter melhor rendimento em níveis de iluminação, a lente é responsável por direcionar, concentrar e proporcionar uma melhor distribuição do feixe luminoso.

As luminárias de *LED* utilizam dissipadores de calor para obter um melhor aproveitamento dos *LEDs*, para manter as características luminosas por mais tempo. Matérias como cobre, alumínio são comumente utilizados com dissipadores de calor em luminárias.

3.2.1.2 Luminária de *LED* para iluminação pública

A recente transição tecnológica para luminárias com tecnologia *LED* requer o estabelecimento de critérios para a aquisição destes equipamentos, considerando a grande variedade de produtos, distintos em performance e durabilidade.

A Norma NTIP - 1.01 ¹ visa estabelecer critérios mínimos de aceitabilidade para garantir a eficácia na aplicação dos produtos, bem como uma durabilidade mínima que viabilize economicamente o alto investimento necessário para implantação desta tecnologia no Distrito Federal.

A Norma NTIP-1.01 determina os critérios fotométrica mínimos para que uma luminária possa ser implementada no Distrito Federal, os critérios definidos são:

“4.3.2. A luminária LED completa, bem como o módulo de LED, deve possuir obrigatoriamente as características a seguir:

- a) Temperatura de cor entre 3.700 K e 4300 K;
- b) Eficiência luminosa mínima de 100 lm/W;
- c) Índice de Reprodução de Cor mínimo de 70;

¹ Norma técnica de iluminação pública NTIP-1.01 apresenta especificações e homologação de luminárias de *LED*, criada em julho de 2016 pela diretoria técnica (DT), superintendência de iluminação pública (SIP) e pela gerência de projetos e implantação de iluminação pública (GPIP). P

d) A manutenção do fluxo luminoso da luminária deve ser maior do que 70% após 60.000h de operação. A comprovação da manutenção do fluxo luminoso deverá ser feita por meio da apresentação do relatório IESNA LM-80² e da temperatura medida ISTMT³. A manutenção do fluxo deverá ser calculada conforme TM21 L70⁴;

e) A fotometria da luminária deverá ser ensaiada e certificada segundo a norma IES LM-79 (IESNA);

f) A corrente de alimentação fornecida pelo driver não deve ultrapassar a corrente nominal do LED para 100% do seu fluxo luminoso

; g) O LED deve ser ensaiado e certificado segundo a norma IES LM-80; (Norma NTIP-1.01,2016.)

h) As luminárias, quando instaladas, deverão atender à norma NBR5101;

i) As luminárias deverão manter o fluxo luminoso maior do que 95,8% até completar 6.000 horas de operação. Para comprovar a manutenção do fluxo luminoso, a CEB, a seu critério, poderá realizar ensaios em campo, por amostragem, em luminárias instaladas. Se comprovado limites de depreciação do fluxo luminoso acima do permitido, o fornecedor se obrigará a substituir todas as luminárias”.



Figura 16: Iluminação pública com luminárias de LED

² O documento LM-08-08 emitido pela IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) é um procedimento de teste para LED e módulo de LEDs.

³ ISTMT – *In Situ Temperature Measurement Test* - Refere-se a medida da temperatura de operação do LED coletada diretamente sobre o mesmo na sua condição de operação especificada.

⁴ A TM21-11 é um memorando técnico que especifica como se deve extrapolar os resultados da LM-80-08., podendo calcular o número de horas par alcançar 70% de manutenção dos lúmens do LED (L70)

Fonte: CEB,2019

Conforme mencionado anteriormente a tecnologia de *LED* pode ser utilizada no parque de iluminação pública visando alcançar um parque energeticamente eficiente, a Figura 16 apresenta a iluminação pública de uma região do Distrito Federal que utiliza luminárias de *LED*.

De acordo com Lopes (2014) a tecnologia de *LED* apresenta diversas vantagens na iluminação pública. Os *LEDs* são resistentes a impactos e vibrações, a vibração nas lâmpadas em geral reduz sua vida útil, esse efeito não se faz presente no *LED*, visto que o *LED* não possui filamento e funciona com um chip muito reduzido, não deixando os impactos vibratórios aparecerem.

A característica mais marcante do *LED* é sua vida útil, entre 25 mil e 100 mil horas, pois reduz a necessidade de trabalho de manutenção, promovendo economia e preservação do meio ambiente (Sales, 2011). No Quadro 2, podemos avaliar a vida média em horas de diferentes tecnologias de fonte luminosa, sendo possível verificar que o *LED* apresenta vida útil superior a maioria das tecnologias de iluminação.

Quadro 2 – Comparativo entre índice de reprodução de cores (IRC), eficiência luminosa e vida média

Fonte Luminosa	IRC (%)	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida média (horas)
Incandescente	100	10-15	750-1.000
Halógena	100	15-35	1.500-2.000
Fluorescente tubular	80-85	40-100	6.000-24.000
Fluorescente Compacta	80	40-80	6.000-24.000
Vapor de mercúrio	40-55	45-58	9.000-15.000
Vapor de sódio	22	80-150	18.000-32.000
Vapor metálico	65-85	65-90	8.000-12.000
Indução	80-90	80-110	60.000
LED	70-95	35-130	25.000-100.000
LED tubular	85	33-97	50.000

Fonte: SARDÁ, 2018

Podemos observar que o *LED* possui uma vida útil média 33 – 100 vezes maior que as lâmpadas incandescentes. Além de ser a tecnologia que apresenta a segunda maior eficiência luminosa, ficando atrás apenas da tecnologia de vapor de sódio.

O *LED* opera em baixa tensão, diminui os riscos de acidentes e fatalidades, proporcionando segurança em sua instalação e utilização. Além de apresentar um

baixo consumo de energia proporcionando um elevado grau de eficiência, podendo atingir um fluxo luminoso considerável (Novicki, 2018). No Quadro 2 podemos comparar a eficiência luminosa do LED com as demais tecnologias de iluminação.

O LED não emite radiação ultravioleta, evitando a atração de insetos à luminária e degradação das características originais da luminária. Além de que a luz do LED é direcionada, logo, há um melhor aproveitamento da luz gerada (Lopes, 2014), o direcionamento da luz também reduz a poluição luminosa. A poluição luminosa é causada pelo desperdício de luz artificial no período da noite. Sendo projetada de maneira incorreta ao céu que fica coberto por uma enorme bolha luminosa, tirando a nitidez das estrelas, conforme Figura 17 (Novicki, 2018).

A razão deste efeito negativo está no modo como é projetada a luz. Na iluminação a LED este efeito é minimizado, pois sua iluminação é direcionada sendo considerada ideal como demonstra a ilustração, Figura 17 (Novicki, 2018).



Figura 17: Poluição Luminosa

Fonte: Novicki, 2008

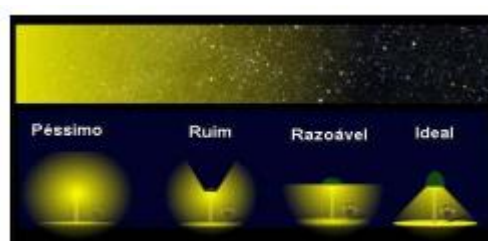


Figura 18: Fator que causa Poluição Luminosa que são os dois modos à esquerda, péssimo e ruim

Fonte: Novicki, 2008

Embora os pontos positivos da tecnologia LED sejam inúmeros, também existem alguns pontos negativos. Com o passar dos anos, a luminosidade de um LED não se mantém constante, podendo se degradar de forma bem acentuada, em função da temperatura que estão submetidos. Uma forma de dissipar o calor em luminárias é através do uso de aletas metálicas, pois estas provocam um resfriamento natural por convecção (Novick,2008).

Por se tratar de uma nova tecnologia os custos de implantação ainda são elevados. Entretanto, a tecnologia está se tornando cada vez mais acessível a todos, e os incentivos por parte do governo, como a proibição da fabricação das lâmpadas incandescentes, que estão sendo substituídas gradativamente (Bakman, 2018).

A rede elétrica é vulnerável a alterações no sistema como picos de alta tensão. Visando a proteção do LED é necessário investir em equipamentos de segurança a fim de impedir prejuízos nas luminárias (Lopes, 2014).

4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CONCEITOS E PROGRAMAS PÚBLICOS

Esse capítulo irá apresentar o conceito de eficiência energética, além apresentar as principais medidas relacionadas a eficiência energética adotadas em diversos países do mundo. Também são abordados nesse capítulo os principais programas relacionados a elétrica energética criados no Brasil.

4.1. Eficiência energética

Qualquer atividade em uma sociedade moderna só é possível com o uso intensivo de uma ou mais formas de energia. Dentre as diversas formas de energia interessam, em particular, aquelas que são processadas pela sociedade e colocadas à disposição dos consumidores onde e quando necessárias, tais como a eletricidade, a gasolina, o álcool, óleo diesel, gás natural etc.

A energia utilizada pela sociedade moderna é proveniente de recursos naturais. Entretanto os recursos naturais são escassos, sendo necessário desenvolver soluções sustentáveis para a produção de energia.

A eficiência energética é uma solução utilizada para reduzir o desperdício de energia. Eficiência energética significa realizar mais de um determinado trabalho ou serviço com o uso de insumo energético igual ou em menor quantidade, mantendo o conforto e a qualidade. (EPE, 2020).

A utilização racional de energia chamada também simplesmente de eficiência energética, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização (INEE, 2018).

A eficiência energética se resume em utilizar menos energia para produzir o mesmo conforto por ela proporcionado ou o mesmo produto na indústria. A Eficiência Energética pode ser trabalhada como uma disciplina de gestão da sustentabilidade onde demonstra um potencial de integrar as mais variadas demandas da sociedade com as da natureza, ou seja, de uma forma geral a eficiência energética não significa apenas uma redução nas despesas, mas também a mitigação dos impactos

ambientais. Conclui-se então que a eficiência energética muitas vezes está associada à melhoria do processo produtivo (Ribeiro, 2005).

As práticas de eficiência energética compõem uma das estratégias para se atender à demanda energética. Evitar o desperdício de recursos naturais e realizar mais serviços energéticos com a mesma quantidade de energia resulta em ganhos de competitividade e benefícios para toda a sociedade.

4.2. Eficiência Energética no Mundo

Em 1973, ocorreu o primeiro choque do petróleo, a suspensão de exportação de petróleo pelos principais membros da Opep (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), em represália ao apoio dado a Israel por potências do Ocidente na guerra do Oriente Médio. Com o choque, os preços dos barris dispararam, o que prejudicou os países não produtores e principalmente os países em desenvolvimento, como o Brasil, extremamente dependente da importação do petróleo (Texeira, 2015 apud Habert, 1996).

O primeiro choque do petróleo ocasionou as principais crises de suprimento de energia, líderes de todo mundo readequaram suas estratégias de gerenciamento e utilização dos recursos energéticos disponíveis. Para minimizar os efeitos gerados por tal crise, surgiram assim algumas medidas de geração e utilização de energia com mais eficiência.

Países desenvolvidos industrialmente organizaram-se e levantaram fundos para investimentos em projetos voltados para redução do uso de energia e para projetos que utilizavam fontes renováveis de energia. Os objetivos destes investimentos eram de diminuir a dependência em relação ao uso do petróleo e seus derivados (ONS, 2020).

Por volta dos anos 1980, as questões relativas aos problemas ambientais ganharam ainda mais importância nos meios acadêmicos, na mídia e na população em geral. Dentre as questões ambientais mais relevantes, as mudanças climáticas globais se destacam, pois são um problema que ameaça o mundo inteiro e não somente alguns poucos países em regiões isoladas.

Visando reduzir os impactos ambientais provocados pelas mudanças climáticas, a Convenção-Quadro das Nações Unidas assinou em 1997 o protocolo de Kyoto. Este protocolo foi um acordo internacional em que os países solicitantes estabeleceram metas de redução de emissões de CO₂. Para alcançar tais objetivos, foram necessárias medidas e mecanismos que estimulasse a eficiência energética.

Diversos países desenvolveram medidas de eficiência energética. O quadro 3, apresenta as principais medidas adotadas, ano de criação, país de origem e a descrição da mesma.

Quadro 3: Medidas de eficiência energética

Programa/Instituto/Ações	Ano de criação	País	Descrição
National Action Program on Climate	1995	Canadá	Programa de eficiência energética voltados para a indústria, setor público, transportes, normalizações de equipamentos na construção civil, programa de etiquetagem de padrões eficientes e de conservação de energia
Instituto para Diversificação e Economia Energética (IDAE),	1984	Espanha	Empresa pública que realiza projetos que estimulam o uso racional de energia, incentivava às fontes renováveis, auditorias energéticas, uso de combustíveis limpos e substituição de equipamentos antigos.
Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EERN)	1981	Estados Unidos	Estimular a exploração de fontes alternativas de energia.
Energy Act (Lei)	1991	Noruega	Promove campanhas de conscientização e informações sobre eficiência energética.
Enova SF	1998	Dinamarca	Promove o financiamento de P&D em tecnologias eficientes.
Australian Greenhouse Office (Secretaria)	1998	Austrália	Foi a primeira agência governamental do mundo dedicada a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, implementou o programa de etiquetagem energética para equipamentos e dispositivos. Também estabeleceu parâmetros mínimos de desempenho energético para equipamentos e dispositivos.
Revised Energy, Conservatio Law	1979	Japão	Estabelece limites mínimos obrigatórios de desempenho para uma série de equipamentos e sistemas consumidores de energia.

Fonte Autor, 2020

4.3 Eficiência Energética no Brasil

Em 1973, ocorreu o segundo choque do petróleo, em protesto pelo apoio prestado pelos Estados Unidos a Israel durante a Guerra do Yom Kippur, tendo os países árabes organizados na Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) aumentando o preço do petróleo em mais de 400%. Em 1979, ocorreu o segundo choque do petróleo, durante a crise política no Irã e a consequente deposição de Xá Reza Pahlevi o que desorganizou todo o setor de produção no Irã, fazendo com que os preços aumentassem. Na sequência da Revolução iraniana,

travou-se a Guerra Irã-Iraque (1980-1988), tendo o preço disparado em face da súbita diminuição da produção de dois dos principais produtores mundiais.

Os choques no preço do petróleo fizeram com que o Brasil adotasse uma série de ações voltadas à conservação e maior eficiência no uso do petróleo e os seus derivados. Nesta mesma época, começou uma corrida para a diversificação da matriz energética visando uma maior segurança no atendimento à demanda de energia (MME, 2011). Uma das ações adotadas foi o Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL) em 1975.

O governo brasileiro passou a adotar medidas para frear o consumo de combustível, em 1981 o governo lançou o Programa de Conservação de Energia Elétrica (CONSERVE) que “constitui a principal experiência de fomento a eficiência energética no Brasil (Souza; Guerra; Kruger 2011).

Ao longo do tempo, a questão ambiental e o desperdício de energia se tornaram pontos importantes para o desenvolvimento econômico e elétrico do País. Com base nessas preocupações, foram criados alguns programas como:

- Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE);
- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL);
- Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados (CONPET);
- ESCOS - que são grupo de estudos da Conservação de Energia, que desenvolvem e apoiam estudos direcionados a eficiência na cadeia de captação, transformação e consumo de energia.

4.3.1. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)

A partir da lei publicada em 17 de outubro de 2001, Lei nº 10.295, Lei de Eficiência Energética, o Inmetro passou a ter a responsabilidade de estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de desempenho energético. Tendo, papel fundamental na implementação da Lei de Eficiência Energética. Atualmente, o PBE tem implementados 24 programas de etiquetagem, prevendo o desenvolvimento de mais 20 para os próximos anos (PBE, 2020).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem tem como grande objetivo informar os consumidores brasileiros quanto ao nível de consumo de equipamentos elétricos no mercado brasileiro, com Etiquetas de Eficiência Energética.

As etiquetas são classificadas em A, B, C, D ou E, nas quais, o equipamento de classe A é mais eficiente que o equipamento de classe B que, por sua vez, é mais eficiente que o equipamento de classe C, e assim por diante. A Figura 19 ilustra uma etiqueta de um refrigerador doméstico de classe de eficiência energética A.

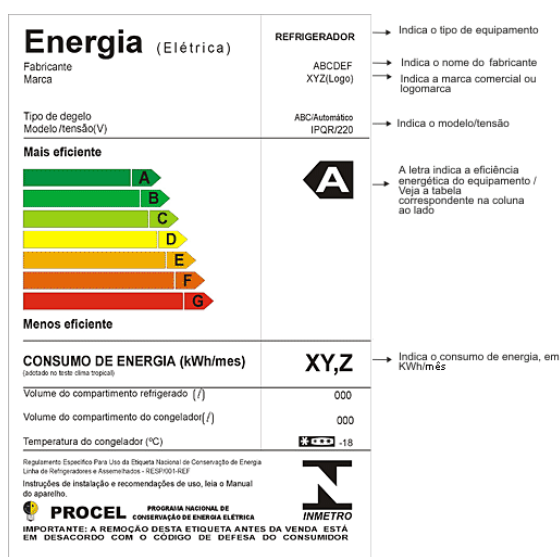


Figura 20: Etiqueta de eficiência energética PROCEL

Fonte: INMETRO, 2020

4.3.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)

O Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica é um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobras. Foi instituído em 30 de dezembro de 1985, pela Portaria Interministerial nº 1.877, para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. As ações do Procel contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, postergam os investimentos no setor elétrico, mitigando, assim, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável (PROCEL, 2020).

Em 03 de maio de 2016, com a promulgação da Lei nº 13.280, um novo ciclo se iniciou, pois o Procel passou a contar com uma fonte de recursos. Está prevista na Lei a definição de planos anuais de aplicação desses recursos, planos esses que são elaborados e aprovados, após processo de consulta pública, por representantes do governo e agentes do setor energético nacional, o que dá transparência e credibilidade aos investimentos realizados (PROCEL, 2020).

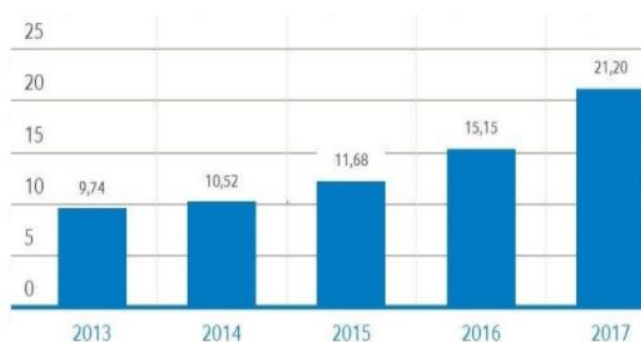
O Procel promove ações de eficiência energética em diversos segmentos da economia, que ajudam o país a economizar energia elétrica e que geram benefícios para toda a sociedade. As áreas de atuação do Procel são:

- Equipamentos – identificação, por meio do Selo Procel, dos equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes, o que induz o desenvolvimento e ao aprimoramento tecnológico dos produtos disponíveis no mercado brasileiro.
- Edificações – promoção do uso eficiente de energia no setor de construção civil, em edificações residenciais, comerciais e públicas, por meio da disponibilização de recomendações especializadas e simuladores.
- Iluminação pública (Reluz) – apoio a prefeituras no planejamento e implantação de projetos de substituição de equipamentos e melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica.
- Poder público – ferramentas, treinamento e auxílio no planejamento e implantação de projetos que visem ao menor consumo de energia em municípios e ao uso eficiente de eletricidade e água na área de saneamento.
- Indústria e comércio – treinamentos, manuais e ferramentas computacionais voltados para a redução do desperdício de energia nos segmentos industrial e comercial, com a otimização dos sistemas produtivos.
- Conhecimento - elaboração e disseminação de informação qualificada em eficiência energética, seja por meio de ações educacionais no ensino formal, seja por divulgação de dicas, livros, softwares e manuais técnicos.

Considerando os resultados acumulados pelo Procel no período de 1986 a 2017, a economia de energia total obtida foi da ordem de 128,6 bilhões de kWh

(PROCEL, 2020). O gráfico 1 apresenta a economia de energia proveniente das ações do PROCEL entre 2013 e 2017. Podemos observar que as ações promovidas pelo PROCEL estão gerando um resultado significativo, a economia de energia promovida pelo PROCEL cresce aproximadamente 22% por ano.

Gráfico 1: Economia de energia entre 2013 e 2017 (bilhões de kWh)



Fonte: Procel, 2018

4.3.3 Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados

O Decreto de 18 de julho de 1991, institui o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – CONPET. O programa tem como objetivo promover o desenvolvimento de uma cultura antidesperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil, garantindo um país melhor para as gerações futuras (Brasil, 1991).

O programa busca estimular a eficiência no uso de energia em residências, indústrias e nos transportes, além de desenvolver ações de educação ambiental (CONPET, 2020).

Os principais objetivos do Programa são: racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural; reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera; promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia (CONPET, 2020)..

O CONPET possui iniciativas (Eficiência Energética de Equipamentos, CONPET no Transporte, CONPET na Educação) que busca esclarecer a população a necessidade de utilizar os recursos energéticos de forma consciente e racional (CONPET, 2020).

Com o uso eficiente de energia, o Brasil economiza divisas, garante sua autossuficiência e reduz os custos de produtos e serviços, além de elevar a produtividade e competitividade em diversos setores econômicos (CONPET, 2020).

4.4. Eficiência Energética na Iluminação Pública

Os programas de eficiência energética na iluminação pública há muito vêm sendo realizados. Desde a substituição dos lampiões a óleo por lampiões a gás e, posteriormente, por sistemas a energia elétrica, a evolução nas tecnologias disponíveis foi o vetor de modernização dos sistemas. A eficiência energética diz respeito, em geral, ao aumento do rendimento dos sistemas e à melhoria da qualidade do serviço de iluminação.

O aumento no rendimento dos sistemas de iluminação é ilustrado na Quadra 02, podemos observar que o surgimento de novas tecnologias proporcionou uma eficiência luminosa de até 1500 vezes a eficiência dos lampiões a querosene utilizados inicialmente.

A iluminação proveniente de *LEDs* surgiu como uma tendência tecnológica de eficiência energética proporcionando uma redução de gastos, devido a longa vida útil e mínima manutenção. Além de apresentar uma eficiência energética satisfatória, liberdade no desenvolvimento e design de luminárias, emissão de luz direta, alto índice de reprodução de cores, acendimento instantâneo, robustez e isenção de vibração, não emissão de raios ultravioletas e infravermelhos, além de contribuírem para a redução da poluição luminosa (NEVES, 2012).

Quadro 4: Rendimento das Principais Fontes de Produção de Luz

Tipo de iluminação	Eficiência luminosa (lm/W)
lampiões a querosene com pavio	0,1
lampiões a querosene pressurizado	0,8
lâmpadas incandescentes	13 a 17
lâmpadas fluorescente	30 a 75
lâmpadas a vapor de mercúrio	45 a 58
lâmpadas a vapor de sódio	80 a 150

Fonte: Eletrobrás (2001 e 2004)

Outra tendência tecnológica para a Iluminação pública é o sistema de telegestão. A telegestão garante que o operador da rede saiba a exata localização de cada ponto de luz e receba quase instantaneamente informações de desempenho e de falhas, como, por exemplo, lâmpadas queimadas no sistema. Esta agilidade facilita a manutenção da rede, ampliando a eficiência na forma de gerir este serviço e racionalizando custos.

Por meio da telegestão também é possível ter informações individualizadas dos pontos de consumo permitindo maior controle sobre os gastos das prefeituras com energia, reduzindo o custo com energia elétrica. Hoje, para efeitos de cálculo de consumo, a conta de eletricidade considera que cada lâmpada fica ligada por certo período de tempo por dia, o tempo de funcionamento depende da região. Com a telegestão, o consumo do sistema de iluminação pública é registrado com exatidão.

O sistema de telegestão conforme mencionado acima, engloba iniciativas de redução de luminosidade em algumas áreas urbanas ou ainda controle efetivo de iluminação com cortes programados em determinadas áreas cujo uso seja mais intenso ao longo do dia, como áreas esportivas, praças, etc. Algumas cidades no Brasil, como Belo Horizonte já estão com iniciativas de telegestão de iluminação pública bem desenvolvidas.

As principais funções do sistema são, a funcionalidade de ligar, desligar e dimerizar uma lâmpada de maneira remota, permitindo a medição de consumo de energia elétrica, detecção de falhas em tempo real, além do controle automático da iluminação de praças, parques, vias, pontes, viadutos, entre outras. (ABINEE, 2018).

5- ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Nesse capítulo será apresentado a origem da iluminação pública, como a iluminação pública iniciou-se no Brasil e principalmente a relevância da iluminação pública para a população de um município. Também será apresentado informações relacionadas ao parque e iluminação pública no Distrito Federal e as principais normas relacionadas a iluminação pública no Brasil.

5.1 Origem da iluminação pública

Desde a pré-história, a evolução está ligada à utilização da iluminação natural e artificial. Nos povos antigos, já havia indícios de uso da iluminação artificial por meio da utilização de óleo. Séculos mais tarde, o óleo de baleia passou a ser empregado em diversos países (Rosito, 2009).

A iluminação pública tem como provável origem a Inglaterra no ano de 1415, quando comerciantes solicitaram alguma providência para combater o crime (Rosito, 2009). Dois séculos mais tarde, em Paris, foram ordenados a colocação de luzes nas janelas das casas voltadas para a rua. Ainda em Paris, em 1763, foi utilizado pela primeira vez um refletor metálico denominado reverbere, esse refletor permite o reconhecimento de uma pessoa a 30 passos de distância, e em 1777, a estrada para Versailles foi iluminada permanentemente à noite (Mascaro, 2006).

Em Nova Iorque, em 1762, a administração da cidade instituiu um tributo para subsidiar a instalação de lâmpões, os agentes de manutenção necessários e o consumo de óleo. Em 1879, nos EUA, foram instaladas as primeiras lâmpadas elétricas para iluminar vias públicas. Doze lâmpadas a arco voltaico na Public Square, em Cleveland. Os sistemas elétricos ainda eram utilizados de forma alternada com os lâmpões a combustível, já que somente no século XX os sistemas elétricos viriam a se tornar suficientemente confiáveis para operarem sem necessidade de retaguarda (CLDC, 2005).

Atualmente, a iluminação pública por luminárias é amplamente empregada e possui um papel essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, atuando como

instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar, plenamente, do espaço público no período noturno.

5.2 Iluminação Pública no Brasil

Em 1876, D Pedro II viaja para os EUA e visita a exposição de Filadélfia e fica surpreso com o potencial da energia elétrica e decide autorizar Thomas Edison a implantar suas invenções no Brasil. Em 1879 ocorreu a inauguração da iluminação elétrica da Estação da Corte da Estrada de Ferro Central do Brasil sendo um marco para as novas implantações de iluminação elétrica pelo país (FRÓES, 2006).

Em 1887, foi inaugurado o primeiro serviço municipal de iluminação pública do país em Porto Alegre. A energia utilizada era proveniente das usinas térmicas da Companhia Fiat Lux. No Rio de Janeiro, criava-se a Companhia de Força e Luz, responsável por mais de 100 lâmpadas de iluminação pública.

A hidrelétrica de Marmelos construída em 1889 em Juiz de Fora (MG) pelo industrial Bernado Mascarenhas foi a primeira usina considerada de porte para “força e luz”, expressão para denominar os serviços de força motriz e iluminação. Essa hidrelétrica é considerada o marco zero na história da energia elétrica no Brasil e na América Latina (Silva, 2006).

Até 1900, as pequenas usinas instaladas juntas somavam apenas 12MW de capacidade instalada, eminentemente térmica. Com a chegada do grupo Light do Canadá o potencial hidrelétrico do país começaria a ser explorado de forma mais intensa. Em 1889 a Light iniciou a operação de suas primeiras linhas de bondes elétricos na capital paulista, produzindo energia elétrica numa pequena central a vapor (Silva, 2006).

No município de Pirai, a Light iniciou a construção da usina de Fontes em 1905, através da Rio de Janeiro Tramway, Light and Power Company. Absorveu pequenas empresas já existentes, monopolizando então os serviços de iluminação, bondes e telefones, além do fornecimento de gás (Silva, 2006).

Em 1909 a Usina de Fontes chegaria a uma capacidade instalada de 24MW, sendo então considerada uma das maiores do mundo. O regime de concessões de serviços públicos imperava no Brasil, dada a precariedade da administração pública para atender a crescente demanda da sociedade. A Constituição de 1891 não fazia distinção entre a propriedade dos recursos naturais e a posse da terra. As concessões

eram geralmente outorgadas pelas prefeituras e o poder concedente, em caso de exploração de quedas d'água, era dos governos estaduais. (Silva, 2006)

Os primeiros contratos de concessão tinham prazos de até 90 anos, além de garantias financeiras do Estado às concessionárias. Assim, a exploração da energia elétrica no Brasil data do início do século XX, quando foram fundadas as primeiras companhias geradoras e distribuidoras, em sua maioria estrangeiras. Muitas dessas empresas celebravam contratos de concessão diretamente com os municípios (CODI, 1984).

Os serviços de iluminação pública se iniciaram sendo prestados por empresas privadas, como serviço de fornecimento de energia elétrica ganhava progressivamente maior importância. A prestação do serviço de iluminação pública foi atribuída como responsabilidade dos municípios por meio do artigo 30, inciso V da Constituição Federal (FRÓES, 2006).

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, por meio da Resolução Normativa nº 414/2010, determinou que as distribuidoras e concessionárias de energia elétrica devem transferir os ativos de iluminação pública, isto é, luminárias, lâmpadas, relés, reatores, às prefeituras (ANEEL, 2010).

Contudo, é comum que as distribuidoras e empresas privadas sejam contratadas para prestação do serviço público, desde a operação até a manutenção.

Os parques municipais de iluminação pública em todo o Brasil contam com mais de 18 milhões de pontos de luz e representam, segundo estimativas, 4% do consumo total da energia elétrica consumida no País. Em grande parte dos municípios, esses gastos são o segundo maior item orçamentário das prefeituras, perdendo apenas para a folha de pagamentos (MDR, 2020).

5.3. A relevância da iluminação pública

“A Iluminação pública é o serviço que tem o objetivo de prover luz ou claridade artificial aos logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, incluindo locais que demandem iluminação permanente no período diurno” (Rosito, 2009). Tal definição é bastante simplificada pela importância que assumiu a iluminação pública nos dias de hoje, visto que, a iluminação pública está relacionada com a segurança, qualidade de vida e desenvolvimento socioeconômico dos municípios.

A iluminação pública possui um papel importante no desenvolvimento, progresso, funcionamento, segurança, socialização e na valorização das cidades. Áreas iluminadas proporcionarão o aumento de práticas esportivas, eventos culturais, festividades, cerimônias entre outros eventos em espaços públicos (Aguera, 2015).

Além de inibir, por meio de uma boa visibilidade durante a noite, atos criminosos como roubo, vendas de produtos ilícitos, e ainda acidentes de trânsito sejam com pedestres, veículos com choques com meio-fio, buracos e irregularidade no solo (Aguera, 2015).

Logo, fica evidente que a iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, atuando como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar, plenamente, do espaço público no período noturno.

5.4 Iluminação Pública no Distrito Federal

O decreto nº 40.898/2020, regulamentou a outorga da concessão da prestação do serviço de iluminação pública do DF, por decreto, à Companhia Energética de Brasília-CEB, empresa controladora do Grupo CEB, com prazo de vigência de 30 anos (Brasil, 2020)

Assim, a CEB Holding passará a fazer a gestão dos recursos da Contribuição de Iluminação Pública – CIP, bem como todas as operações e serviços de iluminação pública, como planejamento, investimento e gestão da implantação, instalação, recuperação, modernização, melhoramento, expansão, operação e manutenção dos ativos que integram o sistema de iluminação pública no Distrito Federal (Brasil, 2020).

O Decreto nº 40.898 de 17 de junho de 2020, de acordo com o Art 1º, caput § 2º a concessão será regida por:

“I – pelas regras previstas em contrato de concessão a ser firmado entre o Poder Concedente e a concessionária;

II – pela Lei Federal nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, ou norma que venha a substituí-la;

e III – demais normas vigentes sobre o serviço concedido.” (Brasil, 2020)

No que tange aos investimentos e custos na concessão de serviços de iluminação pública, o Art 1º, diz que:

“§ 4º Todos os bens vinculados à concessão, cedidos à concessionária ou resultantes de investimentos da concessionária ou de contratados da concessionária que integrem o sistema de iluminação pública do DF serão considerados bens reversíveis, com exceção dos bens colocados fora de serviço, dos bens de uso administrativo ou daqueles considerados não essenciais à prestação do serviço concedido.

§ 6º A responsabilidade pelos custos e atos executórios relativos às desapropriações, servidões e limitações administrativas necessárias à prestação do serviço concedido serão de responsabilidade do Poder Concedente.”

A fiscalização será regida conforma Art 1º:

“§ 8º [...] pela concessionária será executada pelo Poder Concedente, que terá no exercício das suas atribuições livre acesso, em qualquer época, aos dados relativos à administração, à contabilidade e aos recursos técnicos, econômicos e financeiros da concessionária, e poderá contar com a assistência técnica de empresa verificadora independente, conforme detalhado no contrato de concessão.”

É importante ressaltar que a concessão dos serviços de iluminação pública ocorre em conformidade com a Lei Federal no 8.987/1995. Essa lei, dispõe sobre essa concessão conforme está previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. A Lei Federal determina que a prestadora de serviço deverá oferecer um serviço adequado, que satisfaça as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas (Brasil, 1995).

A fim de garantir a qualidade dos serviços prestados o Poder Concedente, deverá fiscalizar os serviços prestados, tendo no exercício das suas atribuições livre acesso, em qualquer época, aos dados relativos à administração, à contabilidade e aos recursos técnicos, econômicos e financeiros da concessionária, e poderá contar com a assistência técnica de empresa verificadora independente (Brasil, 1995).

A tarifa paga a empresa prestadora de serviço é arrecada por meio da Contribuição de Iluminação Pública CIP. A CIP é regulamentada por meio do Art. 149 da Constituição Federal:

“§ 1º Os Municípios e o Distrito Federal poderão instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública, observado o disposto no art. 150, I e III.” (Brasil, 1988).

No DF a CIP é arrecadada pela concessionária de energia elétrica do Distrito Federal (CEB) por meio de convênio entre a concessionária e a Secretaria de Economia do Distrito Federal, por meio de cobrança nas faturas dos respectivos consumidores de energia. (Brasil, 1995)

A tarifa do serviço público ⁵concedido será fixada pelo preço da proposta vencedora da licitação e poderá ser revisada, a fim de manter-se o equilíbrio econômico-financeiro. A concessionária deverá divulgar em seu site uma tabela com o valor das tarifas praticadas e a evolução das revisões ou reajustes realizados nos últimos cinco anos (Brasil, 1995).

Quadro 5: Tarifas vigentes da empresa distribuidora CEB, setembro/2020

Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 50 kWh(0%)	51 a 200 (12%)	201 acima (18%)
B2 - Rural	0,4051142	0,4621859	0,4972088
B2 - Cooperativa de eletrificação rural	0,3624717	0,4135360	0,4448724
B2 - Madrugada - irrigação (redução de 67%) sobre a Tarifa B2 - Rural para o período das 21:30h às 06:00h			
B3 - Serviço de Saneamento (redução de 15%)		0,5169153	0,5560855
B4a - Iluminação Pública (entrega no poste)		0,3344799	0,3598257
B4b - Iluminação Pública (entrega na lâmpada)		0,3648743	0,3925233
Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 200 (12%)	201 a 1000 (18%)	1001 acima (21%)
B3 - Comercial/Industrial	0,6081357	0,6542182	0,6799816
Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 200 (12%)	201 a 500 (18%)	501 acima (25%)
B3 - Poder Público	0,6081357	0,6542182	0,7176641

Fonte: CEB, 2020

Segundo os contratos de concessão das distribuidoras de energia elétrica, cláusula sobre tarifas aplicáveis na prestação de serviço, o processo de revisões tarifárias ordinárias deverá ter a Receita Requerida calculada pela soma do Valor da Parcela A e da Parcela B.

A Parcela A engloba os custos em que a distribuidora tem pouca ou nenhuma gestão. São custos relacionados à compra de energia elétrica para atendimento de seu mercado, o valor da transmissão dessa energia até a área da distribuidora e os encargos setoriais.

A Parcela B por sua vez engloba os custos em que a distribuidora tem controle uma vez que estão diretamente relacionados a gestão destas. A Parcela B englobam os custos operacionais das distribuidoras bem como os custos relacionados aos investimentos corrigidos monetariamente. Estes custos são corrigidos pelo índice de inflação constante no contrato de concessão (IGP-M ou IPCA), deduzido o Fator X. O

⁵ Além dos reajustes anuais e das revisões periódicas, a ANEEL também pode realizar a Revisão Tarifária Extraordinária a qualquer tempo, a pedido da distribuidora, quando algum evento provocar significativo desequilíbrio econômico-financeiro.

Fator X é o mecanismo que permite repassar aos consumidores, por meio das tarifas, projeções de ganhos de produtividade das concessionárias.

O Quadro 5 expressa o valor das tarifas praticadas em 2020 e estão sujeitas a variações e ajustes conforme o tipo de reajuste que esteja sendo equacionado.

No que tange à iluminação pública, em conformidade ao Decreto no 40.898/2020 as concessionárias deverão observar as disposições relativas à prestação do serviço de iluminação pública de modo que o contrato deverá definir:

- “I – as regras e prazos relativos à transferência da prestação do serviço público de iluminação pública no Distrito Federal para a concessionária;
 - II – as metas que deverão ser observadas pela concessionária relativas à qualidade, confiabilidade, e efficientização do sistema de iluminação pública do Distrito Federal;
 - III – as receitas da concessionária;
 - IV – os prazos, requisitos e parâmetros para revisão de metas e receitas elencadas nos incisos II e III;
 - V – outros direitos e deveres definidos pelas partes para viabilizar a concessão da prestação do serviço de iluminação no Distrito Federal e a sua fiscalização pelo Poder Concedente definidas neste Decreto.”
- (Brasil, 2020).

A Lei Federal nº 8.987, também determina que o contrato de concessão deverá possuir cláusulas essenciais relativas:

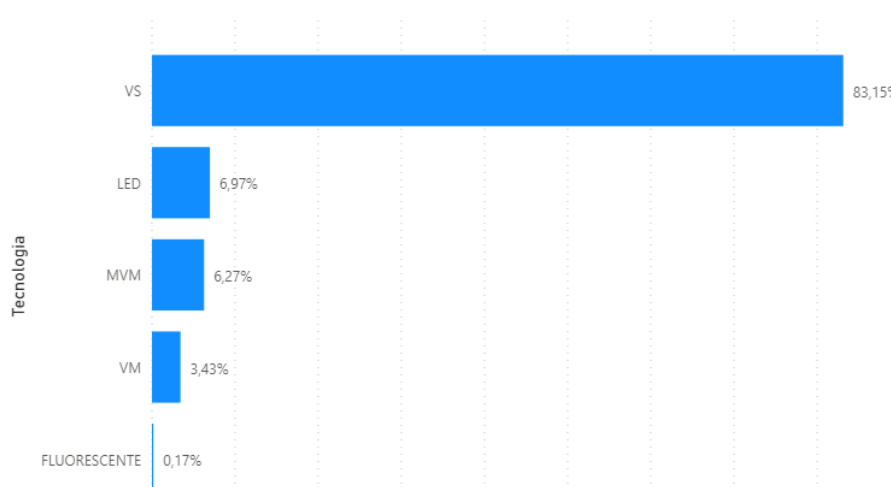
- “I - ao objeto, à área e ao prazo da concessão;
- II - ao modo, forma e condições de prestação do serviço;
- III - aos critérios, indicadores, fórmulas e parâmetros definidores da qualidade do serviço;
- IV - ao preço do serviço e aos critérios e procedimentos para o reajuste e a revisão das tarifas”(Brasil, 1995).

Conforme mencionado anteriormente, a prestação de serviços de iluminação pública no DF e no restante do país é regida por lei, decretos e normas que visam garantir a quantidade dos serviços prestados e o equilíbrio econômico-financeiro por meio da taxa acordada entre a concedente e a concessionária.

5.5 Parque de iluminação pública do DF

A iluminação pública do DF é composta por luminárias a vapor de mercúrio (VM), a vapor de sódio (VS), Multivapor metálico (MVM), *Light Emitting Diode* (LED) e Florescente. O Gráfico 2 apresenta a porcentagem de cada tecnologia no parque de iluminação pública, podemos observar que o parque de iluminação pública no DF é composto majoritariamente por luminárias de Vapor de sódio.

Gráfico 2: Porcentagem de luminária por tecnologia (setembro,2019)



Fonte: Elaboração própria do autor,2020

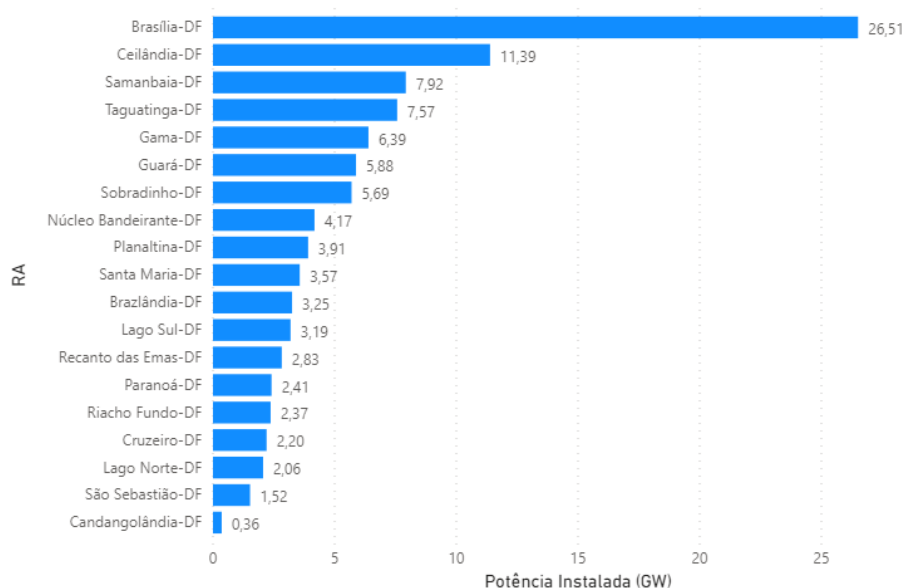
Podemos observar pelo Gráfico 2 que o parque de iluminação pública no DF é composto majoritariamente por luminárias de VS. A tecnologia da luminária VS é considerada eficiente e amplamente utilizada em sistema de iluminação pública, entretanto a grande desvantagem desta fonte luminosa é o seu baixo índice de reprodução de cor, e a cor amarelada emitida (COPEL, 2012).

As luminárias de LED representam apenas 6,97% do total de luminárias, um percentual baixo. Entretanto, a CEB vem investindo e buscando capital para substituir as luminárias convencionais por LED.

Podemos observar que as luminárias com tecnologias menos eficientes como a fluorescente, Multivapor metálico e vapor de mercúrio representam juntas apenas 9,87% do total de luminárias do parque de iluminação pública do DF.

O parque de iluminação pública do DF tem uma carga instalada de 103,17 GW, O Gráfico 3 apresenta a carga instalada por região administrativa, e apresenta um consumo médio mensal de 35,43 GWh.

Gráfico 3: Carga Instalada (GW) por região administrativa



Fonte: Elaboração Própria do Autor, 2020

Podemos observar que a região administrativa com maior potência instalada é Brasília, tal potência pode ser justificada visto que Brasília é a capital federal do Brasil e possui uma população de estimada de 3.055.149 habitantes, tais fatores justificam maiores investimentos na capital Federal (IBGE, 2020).

Em segundo lugar em potência instalada está a região administrativa de Ceilândia. Ceilândia é a região administrativa mais populosa do Distrito Federal (CODEPLAN, 2020), o que justifica a carga instalada da iluminação pública.

Em contrapartida a região com menor potência instalada é a Candangolândia, sendo a região com uma população de apenas 16.338 habitantes, o que justifica a carga instalada (CODEPLAN, 2020).

Podemos afirmar que existe uma relação não linear entre o número de habitantes e a carga instalada para a iluminação pública. Visto que regiões com maior número de habitantes e com maior número de residências ocupam uma área maior, sendo necessário maior investimento na iluminação pública.

De acordo com estudos realizados na concessionária de distribuição de energia CEB, a inclusão de um programa de eficiência energética com a troca das luminárias convencionais por luminárias de LED a redução de carga instalada do DF ficaria em 40,62 GW, o que representa em uma redução de 39,37%, gerando uma economia mensal de aproximadamente 3,15 milhões de reais. Daí a relevância em realizar um estudo e simulações relativas de ações que resultem em economia de energia.

5.5.1 Iluminação pública no Gama

A Iluminação Pública de uma cidade não pertence às empresas concessionárias, mas aos municípios. No caso do Gama, ao Governo do Distrito Federal. A CEB é a empresa contratada pelo GDF para instalação, manutenção e fornecimento de energia para os pontos de iluminação pública.

A iluminação pública do Gama é composta por luminárias a vapor de mercúrio (VM), a vapor de sódio (VS), Multivapor metálico (MVM) e “Light Emitting Diode “ (LED). O quadro abaixo apresenta a quantidade de luminária por tipo de tecnologia e faixa de potência.

Quadro 7: Luminária por tecnologia e faixa de potência

Tecnologia	Pontência Nominal (W)	Quantidade	Potência (Reator) (W)
VM	125	464	13,75
	400	96	36
VS	70	839	14
	100	555	17
	150	8144	22
	250	2805	30
	400	6986	38
MVM	70	10	14
	150	38	22
	250	10	23
	400	1224	38

Fonte:Autor,2019

A Iluminação pública no Gama apresenta uma carga instalada de 6,38 MW e um consumo médio mensal de aproximadamente 2.198,02 MWh. A energia consumida pela iluminação pública no Gama é equivalente a 11.587 residências, o

consumo médio de energia elétrica de uma residência no centro-oeste é de 189,68 kWh (EPE,2019).

5.6 Regulamentação vigente

A Resolução Normativa nº 888, de 30 de junho de 2020, aprimora as disposições relacionadas ao fornecimento de energia elétrica para o serviço público de iluminação pública.

A seguir serão apresentadas as determinações da Resolução Normativa nº 888 relativas à medição e ao faturamento, ambos serão assuntos relevantes para a análise do caso.

A Resolução Normativa Nº 888, determina que a instalação de equipamentos de medição pela distribuída para medir o consumo da iluminação pública é obrigatória apenas em circuitos exclusivos, conforme citação abaixo:

"Art. 22. A instalação de equipamentos de medição pela distribuidora para as instalações de iluminação pública deve observar as seguintes disposições:

I - de forma obrigatória: nos casos de fornecimento efetuado a partir de circuito exclusivo, desde que tal circuito possua consumo estimado superior ao custo de disponibilidade previsto no art. 98; e

II - de forma facultativa: para os demais casos." (Brasil, 1988)

A iluminação pública de um município ou região administrativa se estende por toda área da mesma. Entretanto, para os diversos fins definidos na resolução, os pontos de iluminação pública sem medição da distribuidora devem ser agregados e considerados como uma única unidade consumidora.

"Art. 23-A. Para fins de apuração do consumo de energia elétrica, emissão de fatura, cobrança, pagamento, apuração dos indicadores de continuidade e demais direitos e obrigações, os pontos de iluminação pública sem medição da distribuidora devem ser agregados e considerados como uma única unidade consumidora." (Brasil, 1988)

A resolução também determina a apuração do consumo mensal de energia elétrica:

"Art. 24. O consumo mensal da energia elétrica destinada à iluminação pública deve ser apurado considerando as seguintes disposições:

I - com medição da distribuidora: nas mesmas condições das demais unidades consumidoras dos Grupos A e B com medição;

II - com medição amostral da distribuidora: a medição amostral deverá ser extrapolada para os demais pontos de iluminação pública, com o consumo da unidade consumidora que agrega os pontos sendo calculado pelo somatório dos consumos individuais;

III - com sistema de gestão de iluminação pública do poder público municipal ou distrital: o consumo dos pontos de iluminação abrangidos deve ser apurado a partir das informações do sistema de gestão, observado o art. 26 e demais instruções da ANEEL; e

IV - não enquadrado nas hipóteses acima: o consumo mensal por ponto de iluminação deverá ser estimado considerando a seguinte expressão:

$$\text{Consumo Mensal (KWh)} = (\text{Carga} \times (\text{n} \times \text{Tempo} - \text{DIC}/2))/1.000$$

(1)

Considerando que:

Carga = potência nominal total do ponto de iluminação em Watts, incluídos os equipamentos auxiliares, conforme art. 25, devendo ser proporcionalizada em caso de alteração durante o ciclo.

Tempo = tempo considerado para o faturamento diário da iluminação pública, podendo assumir os seguintes valores:

24h - para os logradouros que necessitem de iluminação permanente;
ou

Tempo médio anual por município homologado pela REH nº 2.590/2019;

DIC = Duração de Interrupção Individual da unidade consumidora que agrega os pontos de iluminação pública no último mês disponível, conforme cronograma de apuração da distribuidora, em horas, conforme Módulo 8 do PRODIST;

n = número de dias do mês ou o número de dias decorridos desde a instalação ou alteração do ponto de iluminação.” (Brasil, 1988)

A distribuidora tem o dever atualizar de forma mensal as informações da unidade consumidora que agrega os pontos de iluminação pública. Na CEB, há um documento que é atualizado mensalmente que constam as informações da unidade consumidora, nesse documento consta diversas informações como quantidade de luminárias, potência, tempo de funcionamento entre outras.

"Art. 24-A. Para realização do faturamento mensal, a distribuidora deverá atualizar mensalmente as informações da unidade consumidora que agrega os pontos de iluminação pública com as informações contidas em seu sistema de informação geográfica." (Brasil, 1988)

"Art. 24-B. O faturamento dos pontos de iluminação pública sem medição da distribuidora deve ser realizado em uma única fatura, considerando o consumo apurado para a unidade consumidora que agrega todos os pontos." (Brasil, 1988)

A iluminação pública necessita de equipamentos auxiliares, como por exemplos transformadores para circuitos exclusivos e os reatores para as luminárias convencionais, a energia consumida por esses equipamentos desse ser estimadas com base nas normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, conforme resolução:

"Art. 25. Para fins de faturamento, a energia elétrica consumida pelos equipamentos auxiliares de iluminação pública deve ser estimada com base nas normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT ou, alternativamente, mediante acordo prévio entre a distribuidora e o poder público municipal ou distrital, por meio de dados do fabricante dos equipamentos ou em ensaios realizados em laboratórios acreditados por órgão oficial." (NR)" (Brasil, 1988).

A medição do consumo de energia elétrica da iluminação elétrica no DF se dá, em sua grande maioria, por meio de estimativa. O faturamento dos pontos de iluminação pública sem medição é realizado em uma única fatura para cada município. Atualmente, no DF são emitidas 19 faturas de iluminação pública, para as 33 regiões administrativas do DF, as regiões administrativas Sudoeste, Sobradinho II, Fercal, Varjão, Jardim Botânico, Itapoã, Vicente Pires, Águas Claras, Arniqueira, Sol Nascente, Park Way , S I A, Estrutural e Riacho Fundo 2 não possuem faturas de iluminação pública, os pontos de iluminação pública dessas regiões administrativas são incluídos na região administrativa original.

6- O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Nesse capítulo será apresentado o surgimento do setor elétrico no Brasil, seus agentes, ambiente de contratação de energia, os tipos de energia existentes e a composição da tarifa de energia paga pelo consumidor.

6.1 Origem do setor elétrico brasileiro

No século XX, o desenvolvimento das indústrias nas regiões do Rio de Janeiro e São Paulo, levou o surgimento das primeiras companhias de energia elétrica no país, essas companhias foram incentivadas por capital estrangeiro, dando início ao mercado de energia elétrica no Brasil. O setor de energia elétrica não possuía legislação específica ou regulatória e o regime tarifário previa os reajustes das tarifas pela variação cambial.

Durante o governo de Getúlio Vargas, foi instituído pelo Decreto nº 24.643 de 1934 o Código de Águas, o primeiro marco regulatório do setor elétrico brasileiro, que atribuiu ao poder público a possibilidade de controlar as concessionárias de energia elétrica (Oliveira, 2017). A partir deste marco regulatório foi reduzindo-se progressivamente a participação privada nos investimentos do setor elétrico e ampliando-se a participação das empresas estatais e federais (ABREU, 1999).

A partir dos anos 1950, diversas empresas federais e estaduais passaram a atuar sob a liderança da Eletrobrás, que assumiu as funções de coordenação, planejamento, operação e financiamento do setor. O modelo estatal consolidou-se nos anos 1970 e 1980, garantindo o suprimento das necessidades de energia elétrica do mercado. A construção de Itaipu, em 1984, marca a consolidação deste modelo (ARAUJO, 2001).

Na década de 1980, a crise cambial e fiscal devido ao preço baixo das matérias-primas e o aumento das taxas de juros nos países industrializados levou a uma fuga de capitais, que provocou uma depreciação maciça das taxas de câmbio. A incapacidade de impulsionar o mercado, devido à crise, fez com que a participação estatal na economia fosse questionada. Como consequência, as empresas de energia sofreram fortes impactos e se mantinham com empréstimos internacionais, pagando elevados juros e suas tarifas passaram a ser usadas como instrumento

macroeconômico de combate à inflação. A situação do setor elétrico era insustentável, generalizando-se a inadimplência intrasetorial (COOPERS, 1997).

A maioria das companhias elétrica apresentavam déficit financeiro, incapacidade de pagamento das dívidas externas e internas, tais contas eram honradas pelo tesouro nacional honra. Outro fator que gerou grande impacto ao setor, foi a má gestão das empresas estatais que foram utilizadas para fins políticos, inviabilizando um gerenciamento administrativo em bases técnicas e focada na eficiência. Assim, surgiu a ideia de reformar o setor elétrico brasileiro, baseado essencialmente na premissa de introdução da competição nos segmentos de geração e comercialização e na privatização de empresas estatais (FILARDI, 2014).

No ano de 1994, seguindo modelos internacionais, o governo federal, através do MME com a ajuda da empresa americana de consultoria e contabilidade (FILARDI, 2014), elaborou um projeto para reestruturar o setor elétrico brasileiro. A primeira medida foi estabelecer a necessidade de separar cada etapa da cadeia produtiva, criando empresas para operar cada atividade. Para construir um mercado competitivo nos setores de geração e comercialização, iniciou-se um processo de privatização das estatais, mantendo sob regulação a transmissão e a distribuição (Losekann, 2003).

Ao ver a necessidade de um sistema regulatório adequado, capaz de promover a concorrência onde possível e, na impossibilidade desta, gerar incentivos para ganhos de qualidade e eficiência por meio da atuação de um regulador independente e com autonomia decisória e financeira (CODI, 1984), o governo federal instituiu novos órgãos para atuar no setor. Assim, em 1996, estabeleceu-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2020).

A ANEEL é uma agência independente que fiscaliza todos os serviços relacionados ao sistema elétrico brasileiro. Sua missão é proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade (ANEEL, 2020).

Para garantir ainda a competição e a regulação, mostrou-se necessária a criação de um operador independente. Assim, foi criado em 1998 o Operador Nacional do Sistema (ONS), o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da ANEEL (ONS, 2020).

Também em 1998 foi criado o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), órgão que ficaria responsável por gerenciar os contratos de compra e venda de energia com o intuito de instituir um ambiente propício para a formação de preços e para a sinalização de oportunidades de investimento no setor (Oliveira, 2017).

A partir de 2003, após a crise energética de 2001, o Governo iniciou mais uma reforma do setor elétrico brasileiro, que levou a criação de três novas instituições. O novo modelo definiu a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), responsável pelo planejamento de longo prazo do setor, do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), responsável pela segurança do suprimento de energia elétrica ao longo do território nacional e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), em substituição ao MAE, encarregada de viabilizar a comercialização de energia respeitando as regras existentes em cada área do setor (CHAGAS, 2008).

6.2. Agentes Operacionais do Setor Elétrico no Brasil

Os Agentes são empresas que atuam no setor de energia elétrica e dividem-se nas Categorias de Geração, Distribuição, Comercialização, Consumidores Livres e Especiais, conforme definido na Convenção de Comercialização (ONS, 2020). Os principais agentes do setor são:

- Agente de Geração: podem ser classificados em três tipos: concessionários de serviço público de geração, produtores independentes de energia elétrica e auto-produtores. A atividade de geração de energia elétrica tem caráter competitivo, assim sendo, os agentes de geração poderão vender energia em todos os ambientes de comercialização e possuem livre acesso aos sistemas de transmissão;
- Agente de Transmissão: compreendem todas as empresas que atuam em atividades relacionadas ao transporte da energia elétrica em alta tensão (rede básica) até os grandes centros de consumo;
- Agente de Distribuição: operam o sistema na sua área de concessão, participando do sistema interligado e sendo usuários da rede básica. Contratam serviços de transmissão de energia e serviços ancilares do operador nacional do sistema elétrico. A atividade de distribuição é orientada para o serviço de rede e de venda de energia aos consumidores com tarifa e condições de fornecimento reguladas pela ANEEL (consumidores cativos).

6.3. Ambientes de Contratação de Energia

A comercialização de energia no Brasil é realizada em dois ambientes de mercado: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Em cada ambiente de contratação há regras específicas que determinam os tipos e flexibilidades dos contratos, bem como a forma como são definidos seus preços (Santos, 2013). A relação entre os agentes e os ambientes de contratação são apresentados na Figura 20.



Figura 20: Relação entre agentes e ambientes de contratação
Fonte: Santos, 2013

6.3.1. Ambiente de Contratação Regulado (ACR)

O Ambiente de Contratação Regulado (ACR) é composto pelos agentes vendedores e agentes de distribuição de energia elétrica. A energia comercializada nesse ambiente é adquirida por meio de leilões de compra e venda de energia e por geração distribuída. Os leilões de geração de energia elétrica buscam a menor tarifa de energia elétrica para o consumo final, a duração dos contratos firmados nos leilões e a flexibilidade dos mesmos são definidas pelo governo por meio de legislação específica definida em cada leilão.

A contratação no ACR é formalizada mediante contratos bilaterais regulados, denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR) (CCEE, 2020).

As distribuidoras devem também adquirir de forma compulsória energia proveniente da usina hidroelétrica de Itaipu, do programa de incentivo às fontes alternativas (PROINFA), das usinas nucleares Angra I e Angra II, além de cotas de UHEs, cujas concessões estejam sendo renovadas. Os preços desses contratos compulsórios são definidos por meio de legislação específica (Maria, 2018).

6.2.2. Ambiente de Contratação Livre (ACL)

O Ambiente de Contratação livre é composto por os agentes de Geração, Comercializadores, Consumidores Livres e Especiais. Nesse ambiente, a duração, flexibilidade contratual, tipo de energia e preços praticados são definidos livremente entre as partes, as transações são pactuadas por meio de contratos bilaterais de compra e venda de energia elétrica, Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente de Contratação Livre (CCEAL) (ABRACEEL, 2020).

As empresas que negociam em ambiente livre podem fazer contratos de longo prazo, que asseguram uma receita fixa por um longo período, ou negociar a sua energia em contratos de curto prazo que são derivados do preço de curto prazo (Santos, 2013).

Os consumidores livres são aqueles que, atendendo aos requisitos da legislação vigente, podem escolher seu fornecedor de energia elétrica geradores e comercializadores por meio de livre negociação. Caracterizam-se como consumidores livres, consumidoras com carga maior ou igual a 2.000 kW (ABRACEEL, 2020).

Os consumidores que optem por se tornarem livre devem ser Agentes da CCEE e estão sujeitos ao pagamento de todos os encargos, taxas e contribuições setoriais prevista na legislação (CCEE, 2010).

6.3. Abertura do Mercado de Energia no Brasil

A abertura de mercado pode ser entendida como um movimento que está associado à liberdade econômica dos agentes e, portanto, reduz as possibilidades de intervenção governamental no mercado de energia elétrica (MME, 2020).

Neste processo de abertura, todavia, deve-se buscar corrigir distorções na alocação de custos e riscos existentes entre os ambientes de contratação e que poderiam, como externalidade negativa, ser ampliadas. Por exemplo, a sobrecontratação das distribuidoras devido à migração de consumidores do ACR para o ACL poderia aumentar ainda mais as tarifas reguladas, estimulando este fluxo (MME, 2020).

O Brasil como a grande parte dos países que reestruturam seus setores elétricos permitiu inicialmente que apenas os grandes consumidores adquirissem sua energia elétrica de forma competitiva. No Brasil a carga mínima exigida para ser consumidor livre era de 3 MW, valor considerado alto quando comparado com países vizinhos como a Colômbia e o Chile, onde para ser livre é necessária uma carga de 100 kW e 500kW, respectivamente (Nery, 2012).

Entretanto, o setor elétrico passou por mudança importante a partir de 1º de julho de 2019, com a entrada em vigor da Portaria 514/2018 do Ministério de Minas e Energia (MME), que ampliou o acesso ao mercado livre de energia, permitindo que clientes com carga igual ou superior a 2,5 MW pudessem comprar energia produzida a partir de qualquer tipo de fonte. E, a partir de janeiro de 2020, a potência mínima foi reduzida de 2,5 para 2 MW.

A Portaria 465/2019 publicada pelo MME, inclui prazos para novas faixas de consumidores na abertura do mercado livre. A Tabela 1 mostra a redução dos requisitos de carga para o mercado livre de energia.

Tabela 1 – Prazos e novas faixas de consumidores

Adesão ao Mercado Livre de energia	2019 1º Julho	2020 1º Janeiro	2021 1º Janeiro	2022 1º Janeiro	2023 1º Janeiro	2024 (PROPOSTA)
	Carga ≥ 2.500KW	Carga ≥ 2.000KW	Carga ≥ 1.500KW	Carga ≥ 1.000KW	Carga ≥ 500KW	Carga ≤ 500KW

Fonte: Elaboração Própria do autor (2020)

De acordo com a portaria, a partir de janeiro de 2021, os consumidores com carga igual ou superior a 1,5 MW em qualquer tensão, poderão optar pela compra de energia elétrica de qualquer concessionário, permissionário ou autorizado de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional. Os consumidores com carga igual ou maior que 1 MW poderão ser livres, a partir de janeiro de 2022, enquanto os que possuem

carga igual ou maior que 500 kW poderão comprar energia de quem quiser, em janeiro de 2023.

Segundo a portaria, até 31 de janeiro de 2022, a Agência Nacional de Energia Elétrica e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica deverão apresentar estudo sobre as medidas regulatórias necessárias para permitir a abertura do mercado livre para os consumidores com carga menor que 500 kW, incluindo o comercializador regulado de energia com proposta de cronograma de abertura, começando em 1º de janeiro de 2024.

A Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Abraceel) acredita que a portaria é um passo fundamental para o Brasil alinhar-se a liberdade total de escolha a todos os consumidores (CCEE, 2020).

Especialista do mercado de energia acreditam que a abertura dará mais versatilidade e competição ao mercado de energia elétrica (Brasil, 2020). Entretanto, entre os especialistas do setor não há consenso. Visto que há especialistas que acreditam que a abertura é positiva, mas que o sistema brasileiro é muito diferente dos demais, pois o sistema é interligado e, com isso, o preço de mercado é definido pelo operador, e não pelos compradores e vendedores, logo o mecanismo do mercado livre não é simples (Brasil, 2020).

Com a abertura do mercado de energia elétrica os consumidores poderão migrar para o mercado livre e escolher seus fornecedores. Entretanto, a liberdade de escolha do fornecedor de energia elétrica não garante a redução de preços ao consumidor final. Trata-se de uma relação indireta, visto que, a possibilidade de escolha dos consumidores aumenta a competição, que por meio de um processo concorrencial pode resultar em menores preços de energia (MME, 2020).

Os benefícios da liberdade de escolha do fornecedor de energia elétrica são diferentes para grandes e pequenos consumidores. O valor pago mensalmente, referente ao consumo de energia elétrica, para os grandes consumidores justifica a contratação de uma empresa especializada para garantir o melhor preço na contratação de energia elétrica. Em contra partida, consumidores de menor porte, em geral, o valor da fatura de energia elétrica não justifica o esforço para avaliar condições de mercado, obter informação e tomar decisões racionais. Para os grandes consumidores a gestão de custo com energia elétrica afeta inclusive a sua competitividade frente aos demais concorrentes (HUNT, 2002).

A abertura do mercado livre de energia poderá trazer benefícios para os consumidores cativos. Entretanto, os impactos gerados pela migração dos consumidores cativos do ACR para ACL no mercado de energia elétrica ainda precisam ser avaliados.

6.4. Tipos de energia

Como visto anteriormente, consumidores livres podem contratar tanto energia incentivada quanto convencional. Portanto, é importante definir cada um desses dois tipos de energia para que o estudo seja corretamente direcionado.

- Energia incentivada: de acordo com a regulamentação vigente, as fontes de energia incentivadas são usinas eólicas, solares, a biomassa, hidráulicas ou cogeração qualificada com potência igual ou inferior a 30.000kW. Consumidores que adquirirem energia dessas fontes têm direito a redução, entre 50% e 100%, das tarifas de uso de transmissão e distribuição, dependendo da fonte, data de homologação e outorga do empreendimento. Essa medida visa incentivar economicamente o crescimento desses tipos de fonte na matriz energética brasileira.

- Energia convencional: são provenientes de usinas hidrelétricas de grande porte e usinas termelétricas, as mais comuns fontes de energia convencional e que possuem preços mais competitivos. Comprando esse tipo de energia o consumidor não tem nenhum tipo de desconto nas tarifas de uso de transmissão e distribuição, mas é possível conseguir tarifas de energia ainda mais atrativas.

6.5. Aspectos tarifários

Com o objetivo de compreender a tarifa de energia no ambiente regulado, essa sessão irá apresentar a composição da tarifa de energia e as tarifas de uso do sistema de transmissão e distribuição.

As tarifas apresentadas dessa sessão são definidas pela ANEEL com base nos custos operacionais das concessionárias e dos investimentos necessários para a expansão da capacidade. Visando garantir o atendimento e fornecimento de energia com qualidade por parte dos prestadores, os custos a serem repassados às tarifas são avaliados pelo órgão regulador, de modo que se possa assegurar receitas

suficiente para cobrir os custos dispendidos pelas concessionárias, sem imputar aos consumidores custos indevidos, as tarifas são reajustadas anualmente (ANEEL, 2016).

6.5.1. Composição da tarifa de energia

Para fins de cálculo tarifário, as distribuidoras têm custos que devem ser avaliados. Esses custos podem ser desmembrados em duas parcelas, chamadas de Parcela A e Parcela B.

A Parcela A incorpora os custos não gerenciáveis da concessionária de distribuição. É composta pelos custos de aquisição da energia fornecida pelas geradoras determinados em leilões públicos, custos de transporte de energia do gerador até os sistemas de distribuição e pelos encargos setoriais, que incidem tanto no custo da distribuição, quanto de geração e transmissão. Estes encargos são decorrentes da implantação de políticas públicas, instituídas por Lei, sendo assumidas pelas concessionárias de distribuição e repassadas aos consumidores (Tolmasquim,2015).

A Parcela B, que incorpora os custos gerenciáveis, contempla os gastos da distribuidora para realizar os serviços de distribuição de energia. Nesse estão incluídos custos operacionais, de manutenção e investimentos na rede elétrica.

A Figura 21 ilustra a composição tarifária de fornecimento conforme descrito. O somatório das parcelas é homologado pela ANEEL, resultando na tarifa final de eletricidade para o consumidor (Tolmasquim,2015).De acordo com a Lei Geral de Concessões (Lei nº 8.987/95), cada distribuidora tem a sua tarifa própria em sua respectiva área de concessão — território de atuação de cada distribuidora, que pode ser igual, maior ou menor que um estado da federação; quando a área de concessão coincide com a extensão de um estado, a tarifa é única naquela unidade federativa, caso contrário, tarifas diferentes são praticadas no mesmo estado.

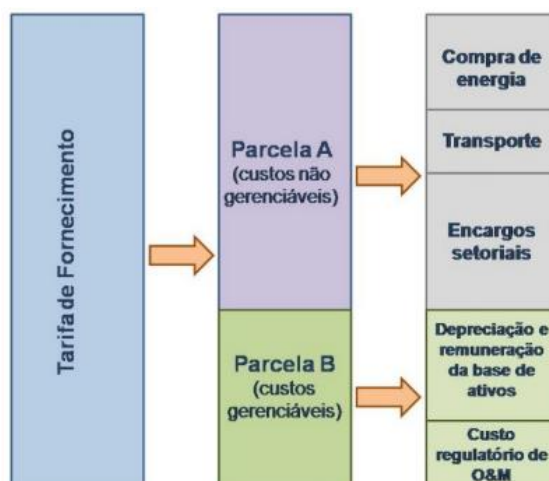
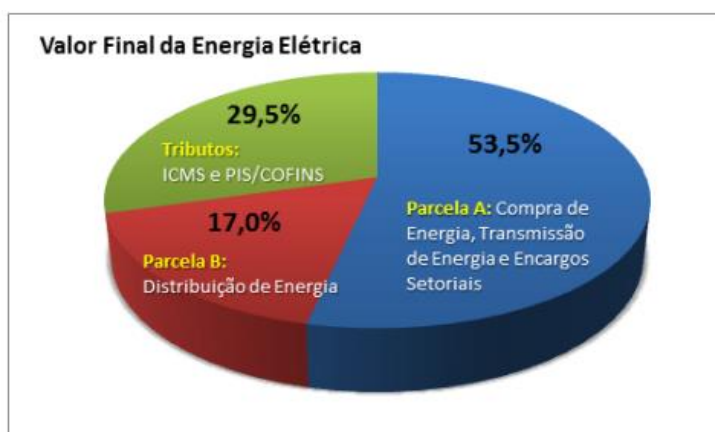


Figura 21: Componentes da tarifa do fornecimento de energia
Fonte: PSR (2016)

Além dessas parcelas, ainda incidem sobre a tarifa de energia elétrica os tributos federais — Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) — e estadual — Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS). Estes tributos são pagos pelos consumidores às distribuidoras e permissionárias, as quais tem o dever de repassá-los ao governo federal e estadual (Tolmasquim,2015). O Gráfico 4 representa a participação dos itens das Parcelas A e B e de tributos na média da tarifa de energia elétrica brasileira, calculada pela ANEEL.

Gráfico 4 - Participação dos itens das Parcelas A e B e dos tributos na Receita Anual da média das distribuidoras



Fonte: ANEEL (2017).

Em azul, é representado o custo com a geração de energia. De verde, estão os valores referentes aos contratos de Itaipu, contendo as parcelas de financiamento da

construção da usina, de geração e do excedente que é importado do Paraguai pelo Brasil. Na cor cinza, estão indicadas as perdas na Rede Básica de Transmissão. Em laranja, são as parcelas compostas pelos encargos setoriais não gerenciáveis, citados anteriormente.

- Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição de Energia (TUSD) (ANEEL, 2010): valor monetário, em R\$/MWh ou R\$/kW, está atrelada à prestação do serviço necessário para o consumo de energia elétrica (disponibilização, manutenção e operação da infraestrutura do setor elétrico). A sua composição é ilustrada na Fig. (19):

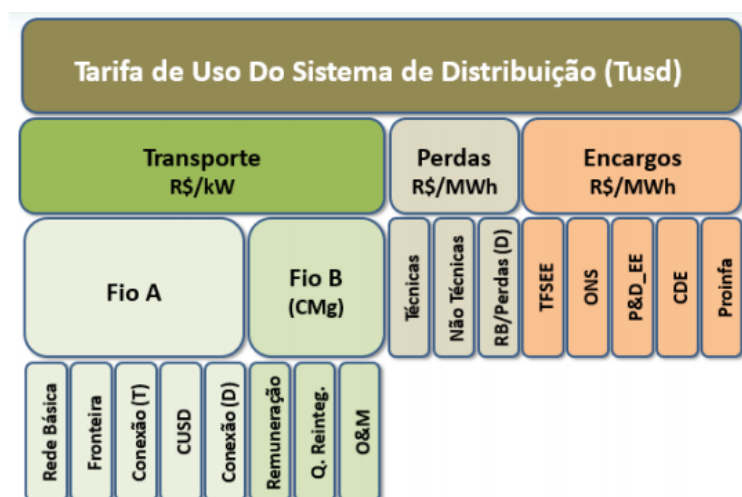


Figura 22: Composição da TUSD
Fonte: ABRACEEL (2016).

Em sua composição, encontra-se na cor verde, a parcela referente ao uso de instalação da Rede Básica de energia elétrica, as perdas na rede e os encargos setoriais. Vale esclarecer que as Distribuidoras pagam às transmissoras pelo uso da rede básica através da Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão – TUST. O custo das Distribuidoras com a TUST é repassado ao consumidor final.

6.6. Bandeiras tarifárias

O sistema de bandeiras tarifárias tem o objetivo de indicar ao consumidor faturado pela distribuidora se haverá ou não acréscimo no valor da energia em função das condições de geração de eletricidade. Este mecanismo varia o preço da geração de energia de acordo com as condições hidrológicas, volume de chuvas, época do ano, dentre outras variáveis. Presente desde o ano de 2015 nas contas de energia de

todos os consumidores cativos em todo território brasileiro integrado pelo SIN, esse sistema tarifário viabiliza o aprimoramento da sincronização de preços e custos de energia, alertando aos consumidores quando haverá escassez na oferta de energia e, conseqüentemente, maior risco futuro no seu fornecimento (ANEEL, 2010). As modalidades são verde, amarela e vermelha e apresentam as seguintes características:

- Bandeira verde: a tarifa não sofre nenhum acréscimo por haver condições favoráveis de geração de energia;
- Bandeira amarela: a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,015 para cada quilowatt-hora kWh consumido por haver condições de geração menos favoráveis;
- Bandeira vermelha – Patamar 1: a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,040 para cada quilowatt-hora kWh consumido por haver condições de geração mais custosas;
- Bandeira vermelha – Patamar 2: a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,060 para quilowatt-hora kWh consumido por haver condições de geração ainda mais custosas.

6.7. Grupos tarifários

As unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A e Grupo B.

Este agrupamento tem por finalidade definir o nível de tensão ao qual a unidade consumidora está interligada e a sua demanda de potência ativa (kW). Os consumidores atendidos em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidos a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, são pertencentes ao Grupo A — a partir desse ponto de corte, é classificado como alta tensão.

Enquanto as unidades consumidoras atendidas em baixa tensão, abaixo de 2,3 kV, pertencem ao Grupo B. Há ainda subgrupos dentro desses grupos tarifários, de acordo com a atividade do consumidor, conforme apresentados a seguir (FERREIRA, 2016):

- Subgrupo A1 - nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 - nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 - nível de tensão de 69 kV; 52
- Subgrupo A3a - nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 - nível de tensão de 2,3 a 25 kV;

- Subgrupo AS - sistema subterrâneo;
- Subgrupo B1 - residencial e residencial baixa renda;
- Subgrupo B2 - rural e cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B3 - demais classes;
- Subgrupo B4 - iluminação pública.

Como podemos ver, os grupos e sub-grupos de consumo de energia organizam-se de acordo com o nível de tensão essas sub-divisões são importantes de modo que a política pública de tarifa de energia consiga distinguir por grupos o perfil de cada um dentro do contexto de demanda de carga.

6.7.1. Reajuste anual e revisão tarifária periódica

O reajuste e a revisão tarifária, conduzidas pela ANEEL, tem como finalidade suprir os custos necessários para a viabilização do serviço adequado, de modo que garanta o atendimento abrangente ao mercado, mas sem perder de vista um preço justo da tarifa para os consumidores. Para prestar esse serviço, há a necessidade de remunerar os investimentos das empresas prudentes, incentivar o aumento da eficiência e qualidade do serviço prestado por parte das concessionárias e garantir a expansão da capacidade atendida (FRÓES, 2006).

O reajuste tarifário anual tem como objetivo retomar o poder de compra da concessionária. Para isso, esse mecanismo aplica uma fórmula prevista no contrato de concessão de modo que atualize anualmente o valor da energia paga pelo consumidor. Na aplicação da fórmula, ilustrada na Figura 23, são repassados as variações dos custos da Parcela A e da Parcela B, além da quota de depreciação dos ativos da distribuidora e a remuneração regulatória, valores que são fixados pela ANEEL na época da revisão tarifária. Os custos na Parcela B ainda são corrigidos pelo Índice Geral de Preços do Mercado (IPGPM) ou pelo Índice de Preço do Consumidor Amplo (IPCA), este subtraído pelo Fator X.

Este fator é um índice cuja função é repassar ao consumidor os ganhos de produtividade estimados da concessionária decorrentes do crescimento do mercado e do aumento do consumo dos clientes existentes.



Figura 23: Reajuste tarifário anual

Fonte: ANEEL (2017).

Já a revisão tarifária periódica é outro tipo de mecanismo que também visa definir o valor da energia paga pelo consumidor, sendo realizada em média a cada quatro anos, conforme definido no contrato de concessão assinado entre as partes. Nesse cálculo, leva-se em consideração a variação inflacionária do ano anterior, investimentos realizados em infraestrutura, ganhos de escala, níveis mínimos de qualidade, além da eficiência na gestão de recurso. Esses fatores compõem a chamada Parcela B. Desse modo, as concessionárias são incentivadas a prestar serviços de forma mais eficiente, colaborando para a modicidade tarifária (ANEEL, 2016).

6.8.O mercado livre de energia no Brasil

O Mercado Livre de energia é o ambiente de comercialização onde os agentes têm a liberdade de negociação sobre as condições contratuais, por exemplo: preço, prazo, volume, período de fornecimento e assim por diante, diferentemente do ambiente regulado (Tolmasquim, 2015).

Além do benefício da negociação livre, este ambiente de contratação livre também oferece outras vantagens como, competitividade, flexibilidade, escolha e previsibilidade tanto de consumo, como de custos (CCEE, 2019).

Com o objetivo de compreender as estruturas de comercialização de energia no Ambiente de Contratação Livre de Energia-ACL, esse capítulo aborda sobre as vantagens nesse ambiente, os métodos de adesão, a formação dos contratos que

regem essa esfera, os riscos de exposição ao Mercado de Curto Prazo e demais risco do mercado livre de energia elétrica.

6.8.1. As Vantagens do Mercado Livre de Energia

Conforme mencionado anteriormente, as partes envolvidas possuem total liberdade de negociação quanto aos parâmetros do contrato, outros benefícios referente ao mercado livre de energia serão apresentados a seguir.

A gestão orçamentaria é uma ferramenta traz vários benefícios aos negócios, entre eles, a possibilidade de planejar metas e ações, prever possíveis cenários, positivos ou não, e acompanhar os resultados para readequar o orçamento sempre que necessário. No mercado livre de energia há maior previsibilidade orçamentária, visto que, é possível prever os gastos com energia elétrica (Genergia,2019).

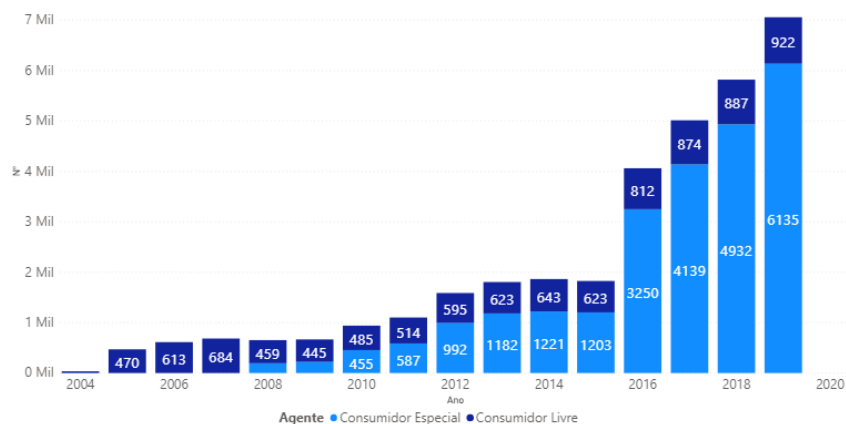
A energia é negociada livremente entre as partes, sendo possível gerenciar a energia elétrica como matéria prima. Além de que é possível alocar a energia para empresas do mesmo grupo, reduzindo custos com energia elétrica (Genergia,2019).

O preço da energia elétrica é negociado livremente entre as partes, devido a livre concorrência os preços no mercado livre são mais competitivos do que no mercado cativo de energia elétrica (Genergia,2019).

Essas vantagens apresentadas, tornaram o ACL a opção mais viável para redução de custos e melhora da previsibilidade orçamentária. Como consequência, esse ambiente apresentou um grande salto nos pedidos de adesão nos últimos quatro anos, conforme ilustrado no gráfico 5. Observa-se que nos últimos 5 anos, entre 2014 e 2019, houve um forte movimento migratório para o ACL, o crescimento no número de adesões para consumidores especiais foi de aproximadamente 400%.Em contra partida, o crescimento no número de adesões para os consumidores livre em torno de 43%, isso se deve à maior complexidade dos requisitos à migração para o consumidor livre.

No ano de 2019, houve um crescimento de 24% no número de consumidores do mercado de energia livre em relação ao ano anterior. Ou seja, há uns números expressivos de consumidores que optaram pela energia livre. Uma pesquisa realizada pela Abraceel em parceria com o IBOPE demonstrou que 79% dos entrevistados querem ter a liberdade de escolha em sua conta de luz, tal pesquisa comprova que há uma tendência de migração para o mercado livre de energia (ABRACEEL, 2019).

Gráfico 4- Evolução da quantidade de consumidores livres e especiais por ano (2004-2019)



Fonte: Autoria própria, Dados CCEE (2019).

6.9. Contratos no Mercado Livre

Os contratos no Ambiente de Contratação Livre são denominados Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL) e resultam da livre negociação entre um agente comprador e um agente vendedor, sendo respeitadas as regulamentações e legislações vigentes, sem a interferência do CCEE (CCEE, 2018).

Conforme o disposto no art. 56 do Decreto nº 5.163/04, e no art. 7º da Convenção de Comercialização de Energia Elétrica, todos os contratos celebrados no ACL devem ser registrados na CCEE, independentemente da data de início de suprimento, para fins de contabilização e liquidação financeira (Brasil, 2004).

De acordo com o perfil de entrega previamente validado entre as partes, são definidos os montantes, em megawatt médio (MWmed), e a vigência do contrato.

No exemplo da Figura 24, pode-se ver a diferença entre um contrato com vigência única e um com múltiplas vigências (CCEE, 2018).

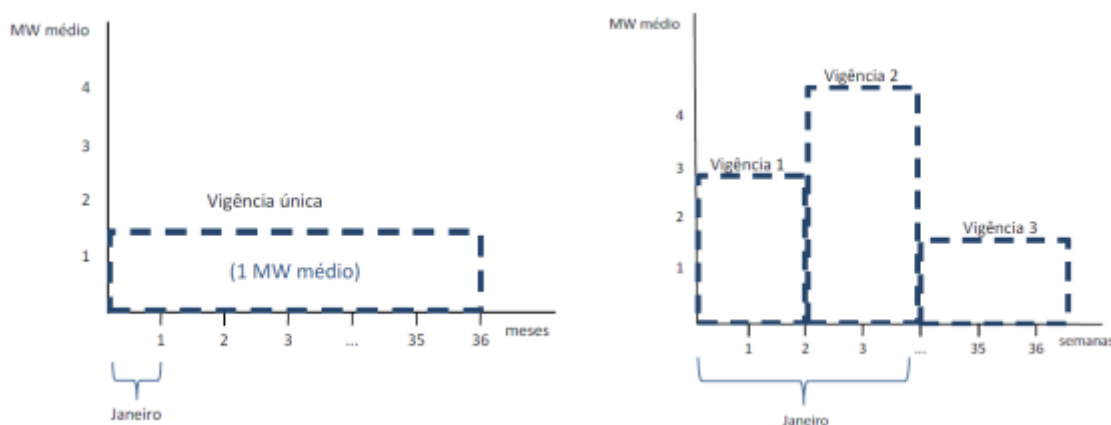


Figura 24: Representação gráfica de montante e vigência.

Fonte: CCEE.

Outro ponto importante no quesito contrato é a sazonalização e a modulação. A modulação corresponde ao processo de se determinar valores de energia em base horária, sendo a distribuição do montante de cada vigência pelo número de horas ou semanalmente sido feita previamente entre os agentes envolvidos (CCEE, 2018).

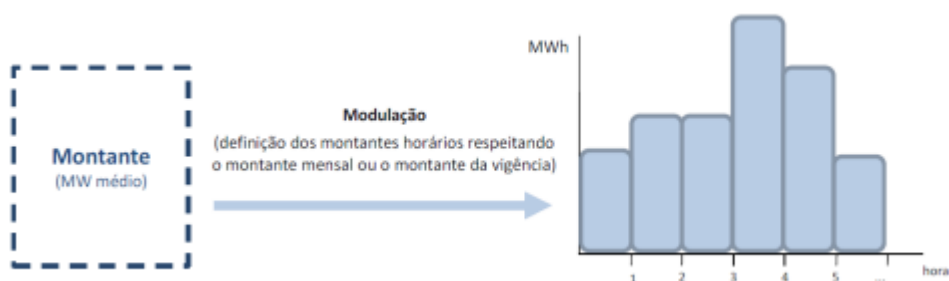


Figura 25: Representação de modulação.

Fonte: CCEE, 2020

Caso essa modulação não seja feita ou não seja acordada entre as partes, o CCEAL é modulado automaticamente (modulação *flat*) dividindo-se proporcionalmente o total da energia mensal pelo número de horas.



Figura 26: Representação de modulação *flat*.
Fonte: CCEE,2019.

A sazonalização é a distribuição do volume anual de energia ao longo dos meses do ano. O objetivo da sazonalização é adequar o volume de energia mensal contratado ao perfil de consumo do comprador, diminuindo assim o risco de exposição ao mercado de curto prazo (MCP). Esse processo é feito anualmente e deve respeitar a data de declaração do vendedor estipulada em contrato. Normalmente ele ocorre entre outubro e dezembro do ano que antecede a entrega da energia. Caso o comprador não declare volumes até essa data o montante contratado será considerado *flat*, ou seja, dividido igualmente em todos os meses do ano (Esfera Energia, 2020).

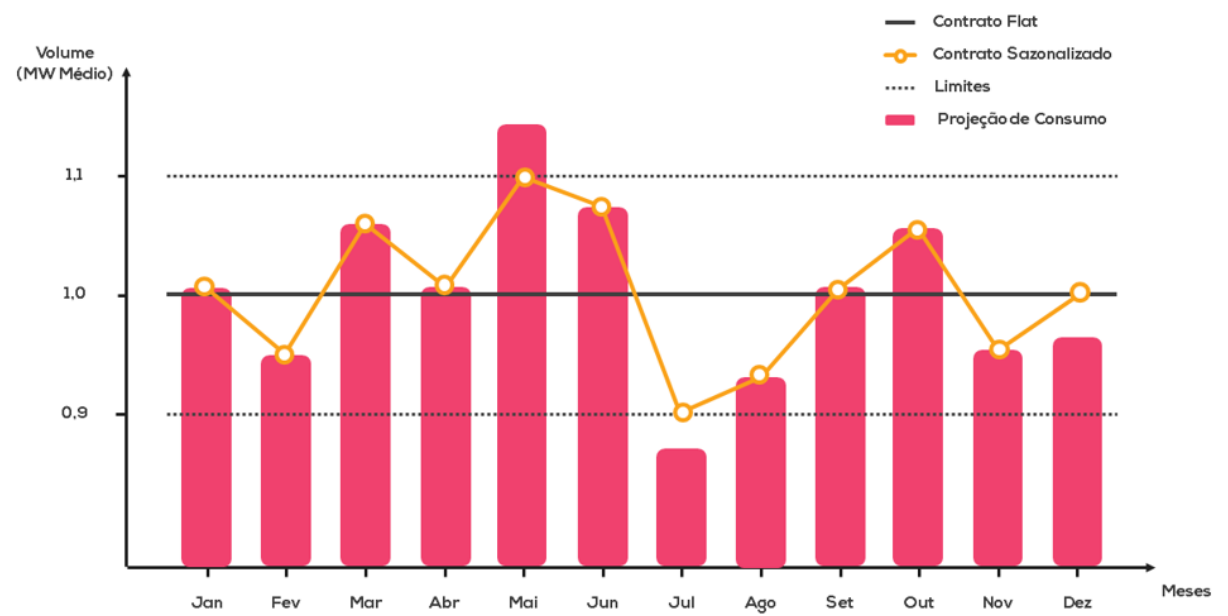


Figura 27 : Flexibilidade dos volumes mensais
Fonte: Esfera,2020

A flexibilidade é composta pelos limites mínimos e máximos que são aplicados aos volumes mensais “sazonalizados”, Figura 27. Esses limites também são acordados em contrato, e dentro dessa faixa o fornecedor garante o volume e o preço de

contrato. Quanto maior a margem de flexibilidade (em média é de +/- 10% da demanda contratada), maior será o valor cobrado pelo agente vendedor, visto que esta característica aumenta o risco do agente que está vendendo energia.

6.10 Mercado de Curto Prazo e Balanço Energético

Além da contabilização dos montantes de energia elétrica comercializados via contratos, a CCEE é responsável também por promover a liquidação financeira dos valores decorrentes das operações de compra e venda de energia no MCP. Desse modo, o Mercado de Curto Prazo pode ser definido como a esfera na qual são contabilizadas as diferenças entre o que foi produzido ou consumido e o que foi acordando em contrato.

A Figura 28 ilustra o balanço energético que é realizado para cada agente registrado na CCEE. Com bases nos dados de volume contratado e volume medido, é processado o cálculo de contabilização das quantidades de energia e a diferença apurada no balanço é negociada no MCP.

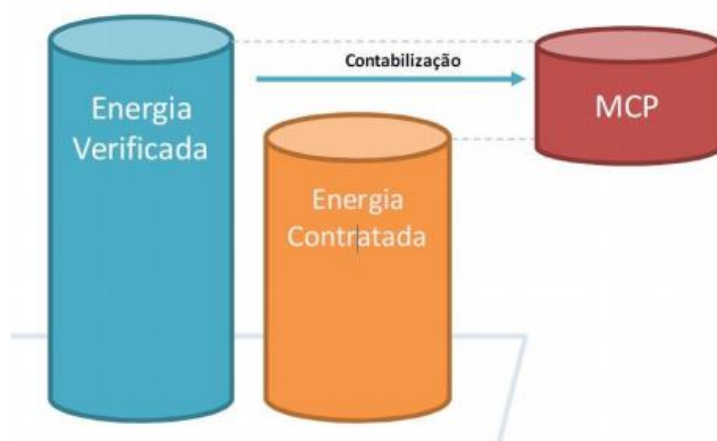


Figura 28: Energia comercializada no MCP
Fonte: CCEE, 2019.

As diferenças positivas ou negativas apuradas para cada agente da CCEE são valoradas ao PLD, o qual é calculado semanalmente para cada nível de carga e para cada submercado.

Estas exposições ao PLD são o principal risco ao qual um consumidor participante do ACL está exposto. Um mau dimensionamento da demanda contratada ou a má gestão do seu consumo de energia pode levar o consumidor a se expor no MCP, tendo que realizar a liquidação financeira sujeita a PLD da variação de seu consumo (CCEE, 2019)

Os consumidores, por sua vez, preferem evitar essa exposição devido à grande volatilidade do PLD. Essa volatilidade se dá em decorrência da alta sensibilidade que os modelos que calculam o preço da energia sofrem em função de alterações nas afluências. Desse modo, apesar do ACL ser um ambiente com a possibilidade de economia, é também um ambiente que apresenta riscos, demandando dos seus agentes tomadas de decisão conscientes e ágeis (CCEE, 2019).

6.11 Processo de adesão ao mercado livre

O processo para migração ao mercado livre e a contratação a longo prazo de energia no ACL pode ser ilustrado pela Figura 29.

O primeiro passo para a adesão é avaliar as condições de tensão e demanda mínima. É preciso ter demanda contratada de, no mínimo, 500kW para se tornar consumidor especial e de 2MW para se tornar livre.

Em seguida, é necessário analisar o contrato vigente com a distribuidora. O contrato de compra de energia regulada ou contrato de fornecimento tem, usualmente, vigência de 12 meses e deve ser rescindido para a migração com seis meses de antecedência.

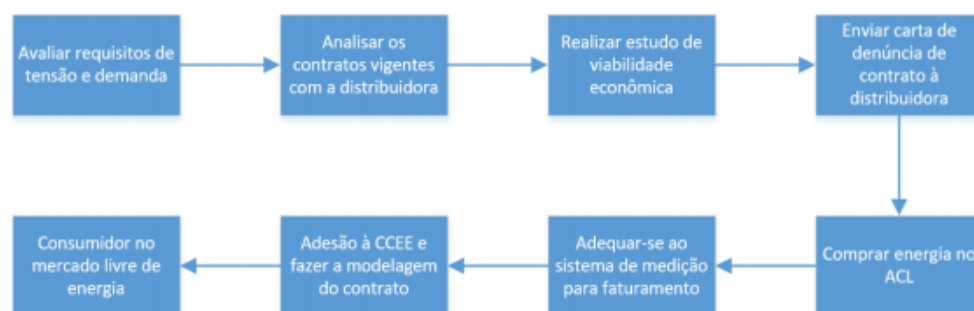


Figura 29: Detalhamento da adesão ao mercado livre de energia
Fonte: RIZKALLA, 2018

Após analisar os contratos vigentes, o consumidor deve realizar um estudo de viabilidade econômica, comparando as previsões de gastos com eletricidade no mercado livre e no cativo. Caso decida pela migração para o mercado livre, o consumidor deve enviar uma carta à distribuidora comunicando a denúncia dos contratos vigentes.

Caso queira antecipar a rescisão contratual, deve pagar pelo encerramento antecipado do contrato. O próximo passo é a compra de energia no ACL, por meio de contratos de compra de energia em ambiente de contratação livre (CCEAL) e/ou de contratos de compra de energia incentivada (CCEI). O contrato pode ser comprado de comercializadores, geradores ou outros consumidores (por meio de cessão).

O passo seguinte é a adequação do sistema de medição para faturamento (SMF). Os consumidores livres e especiais precisam adequá-lo aos requisitos descritos no procedimento de rede, submódulo 12.2 (ONS, 2016).

O último passo para a migração do consumidor é realizar a adesão à CCEE ou ser representado por outro agente vinculado a esta câmara no tocante a contabilização e liquidação. A partir da adesão, torna-se compulsório o pagamento mensal da contribuição associativa ao CCEE, referente aos custos operacionais que são rateados entre os agentes de acordo com o volume de energia negociado por cada um. Por fim, deve-se fazer a modelagem dos contratos de energia comprados no ACL, conforme os procedimentos de comercialização da CCEE, submódulos 1.1 e 1.2 (CCEE, 2017).

7 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo será apresentado os principais resultados encontrados ao longo do trabalho. Também serão apresentados o método e as premissas adotadas para realizar as simulações e cálculo dos indicadores financeiros.

7.1. Análise da viabilidade econômico-financeira do projeto de eficiência energética

A análise e construção de cenários é um importante instrumento para avaliar a viabilidade do projeto, sendo possível avaliar os ganhos e perdas de cada um dos possíveis caminhos que podem ser tomados. De forma geral, este tipo de análise permite explorar os diversos caminhos que podem ser adotados no projeto. Assim, é possível identificar qual a melhor estratégia e qual seu retorno financeiro.

Com o objetivo de avaliar a viabilidade econômico-financeira do projeto foi realizado uma modelagem financeira utilizando a ferramenta Microsoft Excel®, para simular os diversos cenários foi utilizado a ferramenta VBA (Virtual Basic for Applications). O VBA permite que o usuário aplique alguns recursos de programação em documentos do Microsoft Office®.

Diversos cenários foram simulados, considerando a variação nos seguintes parâmetros: tempo de execução do projeto, porcentagem de luminárias trocadas, valor do capital de terceiros necessário com e sem o reinvestimento do retorno financeiro do projeto.

O parâmetro tempo de execução do projeto, diz respeito ao tempo necessário para a substituição do percentual de luminárias proposto. Foram adotados 5 valores para esse parâmetro, 1,2,3,4 ou 5 anos de execução do projeto.

O parâmetro percentual de luminárias é referente a quantidade em percentual de luminárias que serão substitutas por LED durante a execução do projeto. Foram adotados 10 valores para esse parâmetro: 10%,20%,30% até 100%.

Para a realização do projeto foi considerado a entrada de capital de terceiros por meio de um empréstimo. Foram realizadas simulações considerando o sistema de amortização SAC. Visando avaliar a redução do capital de terceiros no projeto, foram realizadas simulações considerando com e sem reinvestimento. No cenário sem reinvestimento, foi considerado um empréstimo no valor necessário para realizado o projeto. No cenário com reinvestimento, foi considerado que o retorno financeiro da

troca de luminária seria reinvestido, visando reduzir a necessidade de capital de terceiros.

7.2. Luminárias

Foi solicitado a CEB a quantidade de luminárias existente na região administrativa do Gama, assim como a tecnologia da luminária, potência e potência dos reatores. O número de luminárias é atualizado mensalmente e utilizado para determinar o consumo de energia da iluminação pública da região administrativa. A CEB realiza sempre que necessário ou quando solicitado a contagem das luminárias do parque de iluminação pública. A quantidade de luminárias e depois informações foram apresentadas no Quadro 8.

Com base nos projetos de eficiência energética realizados pela CEB no ano de 2019 foi elaborada uma proposta de substituição das luminárias atuais por luminárias de LED, a Quadro 9 apresenta a proposta de substituição por tecnologia e potência.

A proposta de substituição será utilizada como referência para calcular a economia de energia após o projeto de eficiência energética.

Quadro 8: Proposta de substituição

Atual		Proposto	
Tecnologia	Potência (W)	Tecnologia	Potência (W)
VS	70	LED	38W
VS	100	LED	54W
VM	125	LED	54W
VS	150	LED	119W
VS	250	LED	150W
VM	400	LED	244W
VS	400	LED	244W
MVM	70	LED	38W
MVM	150	LED	119W
MVM	250	LED	150W
MVM	400	LED	244W

Fonte: Elaboração Própria do autor (2020)

O Quadro 8 apresenta os valores praticados pelo mercado referente ao custo das luminárias de LED e o valor da mão de obra para a substituição de cada luminária.

Quadro 9: Preços luminárias e mão de obra

Luminária	Preço (R\$)	Mão de obra
Luminária 38W	329	23,51
Luminária 54W	391	23,51
Luminária 119W	501	23,51
Luminária 150W	600	23,51
Luminária 244W	1018	23,51

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

Para realizar as simulações financeiras foram consideradas o valor de referência apresentado no Quadro 9. Logo, foi adotado como premissa que o valor das luminárias e mão de obra não alteraria ao longo do tempo.

7.3 Determinação do consumo mensal de energia elétrica

Para determinar o retorno financeiro do projeto de eficiência energética foi calculado a economia gerada pela substituição da luminária atual pela luminária de LED. A resolução normativa 888/2020 da ANEEL, apresenta a seguinte equação para cálculo do consumo de energia elétrica pela iluminação pública.

$$\text{Consumo Mensal (KWh)} = (\text{Carga} \times (\text{n} \times \text{Tempo} - \text{DIC}/2))/1.000 \quad (2)$$

em que:

Carga = potência nominal total do ponto de iluminação em Watts, incluídos os equipamentos auxiliares, conforme art. 25, devendo ser proporcionalizada em caso de alteração durante o ciclo.

Tempo = tempo considerado para o faturamento diário da iluminação pública, podendo assumir os seguintes valores: 24h - para os logradouros que necessitem de iluminação permanente; ou Tempo médio anual por município homologado pela REH nº 2.590/2019;

DIC = Duração de Interrupção Individual da unidade consumidora que agrega os pontos de iluminação pública no último mês disponível, conforme cronograma de apuração da distribuidora, em horas, conforme Módulo 8 do PRODIST;

n = número de dias do mês ou o número de dias decorridos desde a instalação ou alteração do ponto de iluminação.

Foram adotadas algumas premissas com o objetivo de simplificar a simulação do consumo do parque de iluminação pública do Gama, as premissas adotadas são:

-Foi adotado o valor de n igual ao número de dia do mês para todos os pontos de iluminação. Caso contrário seria necessário realizar uma modelagem diária.

-Em geral a duração de interrupção individual é muito pequena comparada com o número total de horas do mês, assim será considerado o termo DIC/2 como aproximadamente 0.

-As luminárias trocadas em um determinado mês serão considerar apenas na apuração do consumo do próximo ciclo, não sendo necessário uma análise diária.

7.4 Tarifa de energia e reajustes

A tarifa de energia elétrica é homologada pela ANEEL, e é reajustada anualmente ou por reajustes extraordinários. O Quadro 10 apresenta o reajuste da tarifa de energia elétrica.

Quadro 10: Reajuste Tarifário homologados pela ANEEL

ANO	REAJUSTE TARIFÁRIO
2019	-6,79%
2018	6,50%
2018*	8,81%
2017	8,46%
2016	3,42%
2015	18,66%
2015*	24,15%
2014	17,12%
2013	7,64%
2012	2,78%
2011	8,15%
2010	10,79%
2009	9,52%
2008	-7,30%
2007	-3,22%
2006	-1,59%
2005	1,23%
2004	2,44%

*Referente à revisão extraordinária

Fonte: CEB,2020

Considerando os ajustes homologados pela ANEEL e fazendo um deflacionamento considerando o IPCA entre os anos de 2014 e 2019 ocorreu um aumento médio de 0,68% ao ano no valor da tarifa de energia elétrica.

7.5 Bandeiras Tarifárias

Conforme mencionado anteriormente, o Sistema de Bandeiras Tarifárias, apresenta as seguintes modalidades: verde, amarela e vermelha, indica se haverá ou não acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade.

Quadro 11: Valor das bandeiras

Bandeira	Valor (100kW/h)
Verde	R\$ -
Amarela	R\$ 1,50
Vermelha 1	R\$ 4,00
Vermelha 2	R\$ 6,00

Fonte: Aneel, 2020

O Quadro 10 apresenta o acréscimo no valor da energia para cada 100 kW/h para as bandeiras verde, amarela, vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2. Vale ressaltar que a esses valores apresentados são acrescentados os impostos vigentes.

A partir dos dados históricos das bandeiras tarifárias, foi possível determinar a ocorrência de cada bandeira para cada mês do ano. O Quadro 12 apresenta a ocorrência de cada bandeira tarifária para os meses do ano.

Quadro 12: Ocorrência das bandeiras tarifárias por mês (janeiro/2015-setembro2020)

Bandeira	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembr	Outubro	Novembro	Dezembro
Verde	3	4	3	4	2	4	2	2	2	1	0	2
Amarela	1	0	2	0	2	0	2	0	1	1	2	1
Vermelha P1	2	1	1	2	2	1	1	3	2	1	2	2
Vermelha P2	0	1	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0

Fonte: Elaboração do autor (2020)

Com o objetivo de estimar o valor de acréscimo para cada mês do ano, foi calculado a média ponderada entre a quantidade de ocorrência e o valor de acréscimo para cada bandeira tarifária. O Quadro 13 apresenta a média ponderada para cada mês do ano.

A ponderação desses valores foi feita considerando o valor do acréscimo correspondente a bandeira tarifária e a frequência de ocorrência de uma determinada bandeira tarifária no mês.

Quadro 13: Média ponderada por mês (janeiro/2015 a setembro/2020)

Mês	Média Ponderada (R\$)
Janeiro	1,58
Fevereiro	1,67
Março	1,17
Abril	1,33
Maio	1,83
Junho	1,67
Julho	2,17
Agosto	3,00
Setembro	2,58
Outubro	3,5
Novembro	3,4
Dezembro	1,9

Fonte: Elaboração do autor (2020)

7.6 Impostos vigentes

São aplicáveis a tarifa vigente e ao acréscimo referente as bandeiras tarifárias o ICMS, PIS/PASEP e COFINS. A porcentagem e a descrição de cada imposto serão descritas a seguir.

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) é um Imposto Estadual sob Administração Estadual Brasileiro, ou seja, somente os governos dos Estados e do Distrito Federal têm competência para instituí-lo (conforme o art. 155, II, da Constituição de 1988). No Distrito Federal, como previsto na legislação estabelecida (Decreto nº 18.955, de 22 de dezembro de 1997), a alíquota do ICMS, um dos impostos incidentes sobre as contas de energia elétrica, varia de 12% a 25% (ANEEL, 2020). Como o consumo da iluminação pública é maior do que 501 kWh por mês será considerado a alíquota de ICMS de 25%.

O Programa de Integração Social (PIS) e o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP), são espécies do gênero contribuições sociais, devidas pelas pessoas jurídicas, com objetivo de financiar o pagamento do seguro-desemprego, abono e participação na receita dos órgãos e entidades para os trabalhadores públicos e privados (Ayres; Szuster,, 2012). O PIS/PASEP aplicado a tarifa de energia é de 0,45% (ANEEL, 2020).

Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) é uma contribuição federal brasileira, de natureza tributária, incidente sobre a receita bruta das empresas em geral, destinada a financiar a seguridade social, a qual abrange a previdência social, a saúde e a assistência social (Ayres; Szuster,, 2012).

O Pis/Pasep e a Cofins variam de alíquota todo mês, podendo chegar a 9,25%,1,65% referente ao PIS/Pasep e 7,6% referente ao Cofins. Vários fatores influenciam o valor das alíquotas, mas elas são determinadas principalmente por despesas da concessionária com a compra de energia elétrica (ANEEL, 2020).

O Pis/Pasep e a Cofins somadas, ficam entre 3% e 9%, em média (Brasil, 2020). Assim para efeitos de cálculo será utilizado a alíquota de 6% para a soma dos dois impostos.

A Equação 3 apresenta o cálculo da tarifa cobrado do consumidor, após a aplicação dos impostos PIS/Pasep, Cofins e ICMS (ANEEL, 2020).

Valor a ser cobrado do consumidor = Valor da tarifa publicada pela ANEEL/ (1-(PIS + COFINS + ICMS)) (3)

Lembrando que os impostos que incidem sobre a tarifa de energia publicada pela ANEEL também incidem sobre a tarifa referente a bandeira tarifária.

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) é um tributo que incide sobre a movimentação de mercadorias em geral, o que inclui produtos dos mais variados segmentos como eletrodomésticos, alimentos, cosméticos, e sobre serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação. O ICMS no Distrito Federal referente a energia elétrica para classe residência e Poder Público, acima de 500 kWh/mês é de 25% (Informa Net, 2020).

7.7 Investimento

Para realização do projeto de eficiência energética é necessário capital financeiro para financiar os custos com luminárias e mão de obra. A Tabela 2 apresenta o capital necessário para a realização do projeto por percentual de troca.

Tabela 2: Investimento por percentual de troca

Investimento (R\$)	Percentual de troca (%)
R\$ 1.539.654,00	10
R\$ 3.083.309,00	20
R\$ 4.625.823,00	30
R\$ 6.169.478,00	40
R\$ 7.714.076,00	50
R\$ 9.255.122,00	60
R\$ 10.797.738,00	70
R\$ 12.341.291,00	80
R\$ 13.883.907,00	90
R\$ 15.429.544,00	100

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

O capital necessário para realizar o projeto pode ser próprio ou de terceiros. A seguir será comentado os custos de cada um desses capitais.

7.8 Financiamento

Para realizar o projeto de eficiência energética será considerado a utilização de capital de terceiros. Há no mercado diversas instituições que financiam projeto de eficiência energética. Para realizar a simulação do financiamento foi utilizado como referência o BNDES Finem - Meio Ambiente - Eficiência Energética. Entretanto, vale ressaltar que as taxas e juros podem variar de acordo com o mês, risco de crédito e intuição financeira.

7.8.1 Custo de capital de terceiros

Por definição, o capital de terceiros corresponde a todos os recursos oferecidos por uma entidade externa às empresas, que vêm de fora de uma organização empresarial. Ou seja, é uma forma da empresa conseguir crédito por meios externos como financiamentos e empréstimos que podem ser solicitados às instituições financeiras responsáveis — bancos, financeiras, *fintechs* e plataformas de empréstimos online, por exemplo.

Para realizar as simulações de financiamento será determinado o custo de capital do BNDES. A taxa final do empréstimo realizado pelo BNDES é composta pelo IPCA, taxa Fixa (J), risco de crédito e remuneração básica, conforme a Figura 30.



Figura 30: Custo financeiro
Fonte: BNDES,2020

Com base no financiamento do BNDES e no Relatório Focus de outubro/2020 será adotada para a realização desse estudo as seguintes taxas:

- IPCA : 3,25% ao ano;
- Taxa Fixa: 1,49% ao ano;
- Risco de crédito: 1,3% ao ano (sem garantia da União);
- Remuneração básica: 0,9% ao ano;

Após determinar a taxa final é possível determinar os juros a serem pagos pelo empréstimo.

O prazo total é determinado em função da capacidade de pagamento do empreendimento, do cliente e do grupo econômico, limitado a 20 anos. Durante o período de carência, que será de até seis meses após a entrada do projeto em operação comercial, os juros poderão ser capitalizados ou pagos pelo cliente. Será considerado o prazo total de 8 anos e que os juros serão pagos pelos clientes para realizar as simulações financeiras.

7.8.2 Sistema de amortização constante (SAC)

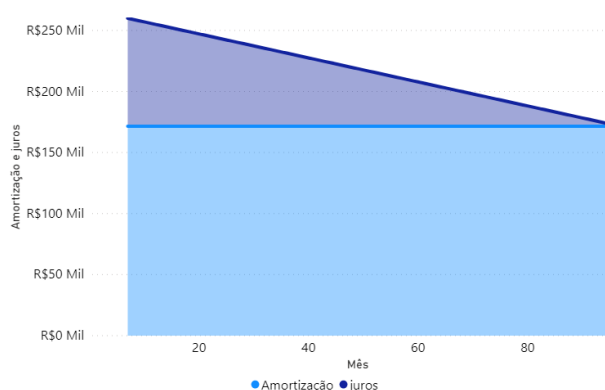
O Sistema de Amortização Constante (SAC) é amplamente utilizado em operações de longo prazo, tendo como principal utilização as linhas do Sistema Nacional Habitacional, pois possuem recurso oriundos do Governo Federal e linhas

do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), que injetam recursos para instituições financeiras repassarem para seus cliente/associados facilitando o acesso (Bona, 2013).

O SAC é um tipo de sistema que passa uma vantagem em comparação ao sistema francês: como sua amortização já é definida desde o início, suas prestações são periódicas, sucessivas e decrescentes, mas, numa análise pormenorizada, a diferença final de valores é mínima. O SAC é muito usado em sistemas de longo prazo, como contratos habitacionais; como a amortização é constante, tem uma facilidade de cálculo de saldo devedor, não necessitando da calculadora financeira (Bona, 2013).

O SAC é um sistema de amortização composto pela formação de juros gerados pelo saldo devedor, juntadas a um percentual fixo do saldo devedor desde o início do financiamento. O percentual de amortização é sempre o mesmo, ficando assim, uma parcela decrescente, porque obviamente, os juros serão menores, pois o saldo devedor vai diminuindo (Gráfico 5).

Gráfico 5: Sistema de Amortização Constante



Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

O SAC é popularmente conhecido como Sistema Financeiro de Habitação (SFH), pois foi adotado nos financiamentos de compra da casa própria, muito usado nos financiamentos de longo prazo. Neste sistema as amortizações são constantes, de modo que o saldo devedor diminui linearmente e se obtém subtraindo do principal o valor da amortização vezes o número de prestações pagas (Bona, 2013).

O SAC é o sistema de amortização mais utilizado pelo BNDS por isso será utilizado tal sistema nas simulações financeiras.

7.9 Rendimentos

Temos que o rendimento é o retorno que você obtém a partir dos seus investimentos, podendo ser positivo, quando o patrimônio se valoriza, ou negativo, caso o patrimônio se desvalorize.

Visando garantir que o capital em caixa do projeto gere rendimentos ao longo da vida útil do projeto foi considerado um retorno sobre o capital a uma taxa de 1.9 a.a. O valor da taxa considerado é referente ao Certificados de Depósito Interbancário (CDI) vigente em 2020.

Ao considerar os rendimentos provenientes do capital em caixa há um impacto positivo nos indicadores financeiros do projeto. Além de tornar a modelagem financeira mais próxima do cenário real.

7.10 Indicadores financeiro do projeto

Com o objetivo de avaliar a viabilidade financeiro do projeto serão utilizados indicadores financeiros como o valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e payback. Para a análise também foram utilizados conceitos como a taxa mínima de atratividade. Os indicadores e taxas mencionadas serão apresentadas a seguir.

7.10.1 Valor Presente Líquido-VPL

O valor presente líquido (VPL) de um projeto de investimento pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. Em outras palavras, é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (Silva, 2005). Assim:

$$VPl = \sum_{j=0}^n R_j(1+j)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+j)^{-j} \quad (4)$$

Em que:

R_j = valor atual das receitas;

C_j = valor atual dos custos;

i = taxa de juros;

j = período em que as receitas ou os custos ocorrem; e

n = número de períodos ou duração do projeto.

O projeto que apresenta o VPL maior que zero (positivo) é economicamente viável, sendo considerado o melhor aquele que apresentar maior VPL. Para uso desse método, é necessária a definição de uma taxa de desconto (i). Nas simulações realizadas foi considerado a taxa de desconto sendo igual a taxa mínima de atratividade (TMA) (Silva, 2005).

O indicador financeiro VPL foi determinado para diversos cenários. Os realizados cenários utilizam diversos parâmetros como tempo de execução do projeto (1,2,3,4 ou 5 anos) e o percentual de luminárias que serão substituídas. O Quadro 14 e 15 apresenta o VPL para cada um dos cenários simulados.

Podemos perceber que na medida que o percentual de substituição das luminárias aumenta, os valores relativos ao VPL também se elevam. Quando temos a duração de 1 ano o projeto com um grau de substituição das luminárias de 10% a 100%, esses valores variam de R\$ 5.159.951,21 a R\$ 51.711.109,71. Fazendo-se uma análise por grau de substitutibilidade das luminárias, observa-se que previsões de substituição de 10% destas ao longo de projetos cuja duração seja de 1 a 5 anos o valor do VPL varia de R\$ 5.159.951,21 a R\$ 5.110.940,39, isso significa dizer que a longevidade do projeto pouco influi no valor do VPL, diferentemente do percentual de luminárias substituídas.

Quadro 14: VPL para diversos cenários (sem reinvestimento)

Duração do projeto (anos)	1	2	3	4	5
Percentual de troca	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL
10%	R\$5.159.951,21	R\$5.182.209,79	R\$5.189.584,82	R\$5.180.396,54	R\$5.159.389,85
20%	R\$10.333.852,01	R\$10.378.423,08	R\$10.392.562,30	R\$10.376.017,92	R\$10.332.400,95
30%	R\$15.502.495,87	R\$15.569.373,36	R\$15.590.908,73	R\$15.565.170,27	R\$15.500.211,89
40%	R\$20.676.396,67	R\$20.765.586,65	R\$20.793.886,21	R\$20.760.791,66	R\$20.673.223,00
50%	R\$25.853.204,89	R\$25.964.722,83	R\$25.999.793,17	R\$25.958.105,08	R\$25.848.541,11
60%	R\$31.017.856,03	R\$31.151.967,44	R\$31.193.791,70	R\$31.144.763,53	R\$31.012.933,63
70%	R\$36.187.989,11	R\$36.344.085,05	R\$36.393.922,83	R\$36.335.066,81	R\$36.182.188,80
80%	R\$41.360.400,69	R\$41.539.131,01	R\$41.595.115,61	R\$41.529.537,27	R\$41.353.755,68
90%	R\$46.530.533,77	R\$46.731.248,62	R\$46.794.310,22	R\$46.719.840,54	R\$46.523.010,84
100%	R\$51.711.109,71	R\$51.934.480,47	R\$52.004.936,56	R\$51.922.472,07	R\$51.702.084,90

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

Também foram simulados os cenários considerando o reinvestimento. Nesse cenário a economia gerada pela redução da potência do parque de iluminação pública seria utilizado na compra e instalação de novas luminárias, reduzindo o capital de terceiros necessário para executar o projeto. Para simular a análise com reinvestimento foi utilizado como premissa que o fluxo de caixa não poderia ser negativo, ou seja, sempre haveria capital em caixa para honrar com os compromissos existentes. Os resultados encontrados considerando o reinvestimento são apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 : VPL para diversos cenários (com reinvestimento)

Duração do projeto (anos)	1	2	3	4	5
Percentual de troca	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL
10%	R\$5.147.771,66	R\$5.078.586,27	R\$5.052.684,30	R\$5.027.698,16	R\$4.997.809,99
20%	R\$10.309.457,76	R\$10.170.906,17	R\$10.118.405,88	R\$10.070.225,25	R\$10.008.821,11
30%	R\$15.465.906,27	R\$15.258.040,43	R\$15.179.597,08	R\$15.106.396,75	R\$15.014.752,04
40%	R\$20.627.592,37	R\$20.350.361,49	R\$20.245.318,66	R\$20.148.922,65	R\$20.025.763,17
50%	R\$25.792.180,17	R\$25.445.541,39	R\$25.313.885,49	R\$25.193.048,54	R\$25.038.981,62
60%	R\$30.944.641,25	R\$30.529.068,79	R\$30.370.859,72	R\$30.226.870,56	R\$30.041.647,73
70%	R\$36.102.569,98	R\$35.617.363,52	R\$35.433.826,55	R\$35.264.182,28	R\$35.049.012,89
80%	R\$41.262.774,71	R\$40.708.522,95	R\$40.497.772,50	R\$40.305.569,13	R\$40.058.589,79
90%	R\$46.420.703,43	R\$45.796.817,68	R\$45.559.802,83	R\$45.342.880,86	R\$45.065.953,76
100%	R\$51.589.048,61	R\$50.896.023,91	R\$50.632.996,26	R\$50.392.220,93	R\$50.082.820,54

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

Podemos perceber os cenários reinvestimento apresenta um comportamento semelhante aos cenários sem reinvestimento. Na medida em que o percentual de substituição das luminárias aumenta, os valores relativos ao VPL também se elevam. Quando temos a duração de 1 ano o projeto com um grau de substituição das

luminárias de 10% a 100%, esses valores variam de R\$ 5.147.771,66 a R\$ 51.589.048,61. Fazendo-se uma análise por grau de substitutibilidade das luminárias, observa-se que previsões de substituição de 10% destas ao longo de projetos cuja duração seja de 1 a 5 anos o valor do VPL varia de R\$ 5.147.771,66 a R\$ 4.997.809,99, isso significa dizer que a longevidade do projeto pouco influi no valor do VPL, diferentemente do percentual de luminárias substituídas

Observando os Quadros 14 e 15 podemos observar que os cenários com reinvestimento apresentam um VPL menor que o cenário sem reinvestimento. Isso ocorre, pois, a taxa de desconto (10,18% a.a) utilizada é maior que a taxa de capital de terceiros (7,10 % a.a). Assim, o valor recebido em valor presente é maior que aumento do retorno gerado pelo reinvestimento, descontado a uma taxa de 10,18% a.a.

Podemos observar uma relação entre o tempo de execução do projeto e o VPL, quanto menor o tempo de execução maior o valor do VPL. Um tempo de execução do projeto menor faz com que as receitas futuras estejam mais próximas da data atual, ou seja, o efeito do desconto do capital é menor.

Conforme mencionado há uma relação entre o percentual de troca e o valor do VPL, quanto maior o percentual de troca maior o VPL. Visto que, quanto maior o número de luminárias trocadas maior a economia gerada, consequentemente maior o valor do VPL.

7.10.2 Índice de Lucratividade (IL)

Uma desvantagem do método do VPL é o resultado ser um valor absoluto, monetário, em vez de um valor relativo, como porcentagem. Assim, ao comparar projetos de investimento utilizando apenas os respectivos VPL's, não se tem nenhuma referência quanto ao valor investido em cada projeto. Com o objetivo de resolver essa deficiência do VPL existe o método de índice de lucratividade (Rezende, 2000).

O IL pode ser obtido pela razão entre o valor do retorno financeiro, pelo valor inicial do investimento.

$$IL = \frac{VPL}{I} \quad (5)$$

Em que:

VPL = Valor Presente Líquido;
 I = investimento inicial.

Podemos definir o investimento inicial como o investimento necessário para adquirir um ativo novo menos as entradas de caixa, após o imposto de renda, obtidas com a liquidação do antigo. Não será considerado nesse modelo financeiro a venda do ativo antigo. Será considerado o investimento inicial como o valor presente necessário para realizar as trocas das luminárias.

O Quadro 16 apresenta o índice de lucratividade para os cenários sem reinvestimento. Podemos observar que quanto menor o tempo de execução do projeto maior o índice de lucratividade.

Podemos observar que para os cenários com e sem reinvestimento o índice de lucratividade apresenta pouca variação para os resultados de diferentes percentuais de substituição ao longo de um ano de duração do projeto. Esse comportamento ocorre pois o índice de lucratividade está relacionado com a capacidade do projeto de gerar lucro, assim para os parâmetros avaliados o aumento do percentual de troca não altera a capacidade do projeto de gerar retorno financeiro.

Quadro 16: Índice de lucratividade (Sem reinvestimento)

Duração do projeto (anos)	1	2	3	4	5
Percentual de troca	IL	IL	IL	IL	IL
10%	3,350	3,370	3,370	3,360	3,350
20%	3,350	3,370	3,370	3,370	3,350
30%	3,350	3,370	3,370	3,360	3,350
40%	3,350	3,370	3,370	3,370	3,350
50%	3,350	3,370	3,370	3,370	3,350
60%	3,350	3,370	3,370	3,370	3,350
70%	3,350	3,370	3,370	3,370	3,350
80%	3,350	3,370	3,370	3,370	3,350
90%	3,350	3,370	3,370	3,370	3,350
100%	3,350	3,370	3,370	3,370	3,350

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

O Quadro 17 apresenta o índice de lucratividade para os cenários com reinvestimento. Podemos observar que de forma similar aos cenários sem

reinvestimento, quanto menor o tempo de execução do projeto maior o índice de lucratividade.

Quadro 17: Índice de lucratividade (Com reinvestimento)

Duração do projeto (anos)	1	2	3	4	5
Percentual de troca	IL	IL	IL	IL	IL
10%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
20%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
30%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
40%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
50%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
60%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
70%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
80%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
90%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250
100%	3,340	3,300	3,280	3,270	3,250

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

7.10.3 Taxa mínima de atratividade (TMA)

A taxa mínima de atratividade (TMA) é uma taxa de juros que expressa a lucratividade mínima pretendida pela empresa de energia ou pelo investidor e, teoricamente, está sempre disponível para aplicação de capital. No processo de avaliação de projetos, existirá sempre uma taxa de juros que sirva de comparação para permitir uma tomada de decisão, seja de aceitar ou rejeitar uma proposta. Isso significa que quando a empresa decide aplicar recursos em uma proposta de investimento abre mão de investir na taxa mínima de atratividade, sempre disponível (Silva, 2005).

A TMA é lastreada na taxa de juro que, por sua vez, é, em essência, um elemento de política econômica utilizada pelos governos para manter o equilíbrio da economia de um país. A taxa de desconto depende de fatores como as incertezas (técnica, política e econômica) e os riscos a que está sujeito o investimento.

Uma das formas de determina a TMA é pelo método CAPM (Capital Asset Pricing Model), que busca identificar a percepção do mercado sobre os riscos do setor (EPE, 2003).

$$r_{CAPM} = r_f + \beta(r_m - r_f) \quad (6)$$

Em que:

r_{CAPM} : Custo do capital próprio;

r_f : Taxa livre de risco;

β : medida da correlação entre o retorno do ativo e o retorno do mercado;

r_m : Taxa de retorno de um portfólio diversificado (carteira “de mercado”)

$(r_m - r_f)$: Prêmio de risco.

Para determinar a taxa mínima de atratividade foram adotadas algumas premissas, tais premissas serão apresentadas e comentadas a seguir.

Em um mercado competitivo, o prêmio de risco muda conforme o risco não diversificável, que é o índice beta (β). Para esse estudo será considerado o índice beta igual a 0,58, média para o setor de energia elétrica (Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica).

O índice beta nos permite fazer uma análise de risco e seus valores significam:

- $\beta > 1$: Ativo de alto risco. A rentabilidade do β varia mais que a proporcional ao mercado. Isto quer dizer, portanto, que o investimento rende mais que o índice do mercado em variações positivas. No entanto, caso aconteça o contrário, a variação negativa também pode ser maior.
- $\beta < 1$: Ativo de baixo risco. A sua rentabilidade varia menor que o proporcional ao mercado. β igual a zero neste caso, o β indica que o ativo ou está indiferente, ou pouco associado. Assim sendo, ele pode acontecer em variações positivas ou negativas do índice mercadológico.
- $B = 0$: mantém a rentabilidade do ativo constante.
- $\beta < 0$: é um ativo que rende em direção contrária ao mercado. Um exemplo são os metais preciosos que se valorizam em períodos de crises financeiras.

Para a taxa de retorno de um portfólio diversificado (carteira “de mercado”) (r_m) será considerada uma taxa de 15%, referente aos últimos 5 anos do IBOVESPA. Uma taxa de retorno de mercado maior irá aumentar o valor da taxa mínima de atratividade, fazendo com que o VPL do projeto seja menor do que o valor esperado. Em contra partida, uma taxa de retorno de mercado menor irá diminuir a taxa mínima de atratividade, aumento o valor esperado do VPL referente ao projeto de eficiência energética.

A taxa livre de risco (r_f), deve ser considerada uma taxa de rendimento de um investimento sem risco. Tais como a poupança ou o do Tesouro (Selic), para esse

estudo será considerado uma taxa de 2%, referente a taxa Selic. Dessa forma, este valor diz respeito ao mínimo a se considerar para o retorno esperado.

Uma taxa livre de risco maior do que a considerada irá aumentar a taxa mínima de atratividade, fazendo com que o VPL do projeto seja menor.

A partir da equação 5 e utilizando as premissas mencionadas anteriormente temos que a taxa mínima de atratividade, pelo método CAPM, é de aproximadamente 10,18% a.a.

7.10.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Taxa Interna de Retorno (TIR é a taxa que relaciona o valor investido com o valor resgatado ao fim do investimento. Ou seja, a taxa necessária para trazermos o valor final do investimento para o valor presente e este seja igual ao valor investido (Silva, 2005). Essa taxa não é, no entanto, facilmente calculada, devendo ser determinada por métodos numéricos, como por exemplo, pelo método de tentativa e erro.

Matematicamente, a TIR pode ser determinada pela equação a seguir (Gitman, 2004):

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - FC_0 \quad (7)$$

Onde:

TIR= taxa interna de retorno;

FC0= Investimento inicial;

FCt =fluxo de caixa esperado ao final do ano t;

n = número de períodos;

Após determinar a TIR é possível analisar o projeto, entendemos que se:

-TIR seja maior do que a TMA o investimento é atrativo;

-TIR igual à TMA o investimento não seria bom e nem ruim, pois renderia a mesma coisa que a taxa mínima de atratividade;

-TIR menor do que a TMA o investimento não seria atrativo, pois sua rentabilidade é inferior a taxa mínima de atratividade.

Conforme mencionado anteriormente o indicador financeiro TIR não é facilmente calculado. Com o objetivo de determinar a TIR e de encontrar o valor do capital de terceiros considerando o reinvestimento foi utilizado o método da bisseção.

O método da bisseção é intuitivo e sua explicação é bem elementar, e pode ser entendida pela seguinte ilustração.

Considere uma função $f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ contínua neste intervalo. Se $f(a)$ possui sinal oposto a $f(b)$, existe pelo menos um ponto x , tal que $f(x) = 0$. Assim, para conseguirmos um valor aproximado do zero de uma tal função $f(x)$ é tomar, como primeira aproximação, o ponto médio do intervalo, isto é:

$$x^{(0)} = \frac{a+b}{2} \quad (8)$$

Pode ocorrer de $f(x^{(0)})=0$ e, neste caso, o zero de $f(x)$ é $x^*=x^{(0)}$. Caso contrário, se $f(a) \cdot f(x^{(0)}) < 0$, então $x^* \in (a, x^{(0)})$. Neste caso, tomamos como segunda aproximação do zero de $f(x)$ o ponto médio do intervalo $[a, x^{(0)}]$, isto é, $x^{(1)} = (a + x^{(0)})/2$. No outro caso, temos $f(x^{(0)}) \cdot f(b) < 0$ e, então, tomamos $x^{(1)} = (x^{(0)} + b)/2$. Repetimos este procedimento até obtermos a aproximação desejada, Figura 31.

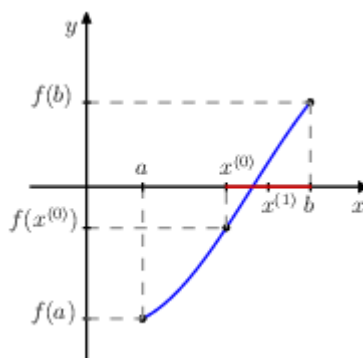


Figura 31: Método da bisseção.

Fonte: Justo, 2019

De forma mais precisa, suponha que queiramos calcular uma aproximação com uma certa precisão TOL para um zero x^* de uma dada função contínua $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ tal que $f(a) \cdot f(b) < 0$. Iniciamos, tomando $n=0$ e:

$$a^{(n)} = a, b^{(n)} = b \text{ e } x^{(n)} = \frac{a^{(n)} + b^{(n)}}{2} \quad (9)$$

Verificamos o critério de parada, isto é, se $f(x(n))=0$ ou:

$$\left| \frac{b^{(n)} - a^{(n)}}{2} \right| < TOL \quad (10)$$

Então $x(n)$ é a aproximação desejada. Caso contrário, preparamos a próxima iteração $n+1$ da seguinte forma: se $f(a(n)) \cdot f(x(n)) < 0$, então definimos $a(n+1)=a(n)$ e $b(n+1)=x(n)$; no outro caso, se $f(x(n)) \cdot f(b(n)) < 0$, então definimos $a(n+1)=x(n)$ e $b(n+1)=b(n)$. Trocando n por $n+1$, temos a nova aproximação do zero de $f(x)$ dada por:

$$x^{(n+1)} = \frac{a^{(n+1)} + b^{(n+1)}}{2} \quad (11)$$

Voltamos a verificar o critério de parada acima e, caso não satisfeito, iteramos novamente. Iteramos até obtermos a aproximação desejada ou o número máximo de iterações ter sido atingido.

Utilizando o método de bisseção foi possível determinar a taxa interna para os diversos cenários estudados. Os Quadros 18 e 19 apresenta a TIR para os cenários com e sem reinvestimento.

Quadro 18: TIR (sem reinvestimento)

Duração do projeto (anos)	1	2	3	4	5
Percentual de troca	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR
10%	19%	19%	19%	18%	18%
20%	19%	19%	19%	18%	18%
30%	19%	19%	19%	18%	18%
40%	19%	19%	19%	18%	18%
50%	19%	19%	19%	18%	18%
60%	19%	19%	19%	18%	18%
70%	19%	19%	19%	18%	18%
80%	19%	19%	19%	18%	18%
90%	19%	19%	19%	18%	18%
100%	19%	19%	19%	18%	18%

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

Quadro 19: TIR (com reinvestimento)

Duração do projeto (anos)	1	2	3	4	5
Percentual de troca	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR
10%	20%	22%	23%	23%	23%
20%	20%	22%	23%	23%	23%
30%	20%	22%	23%	23%	23%
40%	20%	22%	23%	23%	23%
50%	20%	22%	23%	23%	23%
60%	20%	22%	23%	23%	23%
70%	20%	22%	23%	23%	23%
80%	20%	22%	23%	23%	23%
90%	20%	22%	23%	23%	23%
100%	20%	22%	23%	23%	23%

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

Podemos observar que os cenários com reinvestimento apresentam uma TIR um pouco maior do que os cenários sem reinvestimento.

7.10.5 Payback descontado

Payback é um indicador do tempo de retorno de um investimento. Diz respeito ao período que a empresa irá levar para devolver aos seus cofres o dinheiro aplicado em um novo projeto ou investimento. Existem duas maneiras de calcular o payback, uma pela quantidade de anos ou meses que o dinheiro investido demorará para voltar como lucro, o Payback Simples. E a outra é semelhante, mas considera uma taxa de desconto dos valores considerando o período, sendo este o Payback Descontado (Rodrigues; Rozenfeld, 2016).

O payback, como outros indicadores, tem sua importância e deve ser considerado na hora de avaliar a viabilidade de projetos e investimentos. O payback fornece uma orientação para determinar o grau de risco de certos empreendimentos, cabendo ao investidor a decisão final de levá-los adiante ou não.

O payback descontado difere-se do payback simples por descontar o custo de capital nos fluxos de caixa, ou seja, os valores das entradas e saídas são baseados

no tempo presente. Foi utilizado a taxa mínima de atratividade como a taxa de desconto.

Os quadros 20 e 21 apresentam o payback descontado para os diversos cenários simulados. Podemos observar que quanto menor o tempo de execução do projeto menor o payback. Também podemos observar que quanto maior a quantidade de luminárias substituídas menor o payback do projeto.

Quadro 20: Payback descontado (sem reinvestimento)

Anos de projeto	1	2	3	4	5
Percentual de troca	Payback	Payback	Payback	Payback	Payback
10%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
20%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
30%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
40%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
50%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
60%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
70%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
80%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
90%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses
100%	9 anos	9 anos e 7 meses	10 anos e 2 meses	10 anos e 9 meses	11 anos e 4 meses

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

Quadro 21: Payback descontado (com reinvestimento)

Anos de projeto	1	2	3	4	5
Percentual de troca	Payback	Payback	Payback	Payback	Payback
10%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
20%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
30%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
40%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
50%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
60%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
70%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
80%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
90%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses
100%	8 anos e 10 meses	7 anos e 8 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 6 meses	7 anos e 7 meses

Fonte: Elaboração própria do autor (2020)

Apesar de influenciar negativamente o VPL do projeto o reinveste é capaz de reduzir de forma significativa o playback do projeto, conforme podemos observar nos Quadros 20 e 21.

7.11 Análise de risco de investimentos em eficiência energética

Ao longo do projeto foram adotadas algumas premissas para que fosse possível realizar as simulações e determinar os indicadores econômicos do projeto. Entretanto, tais premissas possuem uma incerteza associada e consequentemente um risco associado. A seguir será apresentado a definição de risco e os riscos associados a cada uma das premissas adotadas.

A ABNT NBR ISO 31000 define risco como o efeito da incerteza nos objetivos, onde efeito é um desvio em relação ao esperado, seja ele positivo ou negativo. Os objetivos podem ter diferentes aspectos (tais como metas financeiras, de saúde e segurança e ambientais) e podem aplicar-se em diferentes níveis (tais como estratégicos, em toda a organização, de projeto, de produto e de processos). A ISO 31000 define incerteza como o estado, mesmo que parcial, da deficiência das informações relacionadas a um evento, sua compreensão, seu conhecimento, sua consequência ou sua probabilidade (ABNT, 2009).

Avaliando do ponto de vista financeiro, podemos definir o objetivo do projeto de eficiência energética como alcançar o maior valor possível do VPL. Ao realizar as simulações foram adotadas premissas relacionadas ao valor da tarifa, vida útil das luminárias, valor das luminárias e valor de troca das luminárias e IPCA.

O risco dos investimentos em eficiência energética está relacionado com a estimativa dos custos futuros da energia e com os custos de operação e manutenção, ou seja, com as suposições assumidas durante a vida do projeto, porém investimentos em eficiência energética, em comparação com outros, são considerados de risco baixo (EPA, 1998).

As premissas relacionadas ao valor da tarifa e vida útil das luminárias podem influenciar de forma positiva ou negativa nas entradas do projeto de eficiência energética. Visto que, a principal entrada do projeto é o retorno financeiro relacionado a redução de carga do parque de iluminação pública. Há uma relação diretamente proporcional entre a tarefa de energia elétrica e o retorno financeiro de um determinado mês. Assim, uma tarifa de energia menor do que a estimada reduz o retorno financeiro, diminuindo o VPL do projeto. Paralelamente, uma tarifa maior do que a estimada irá aumentar o retorno financeiro, aumentando o VPL do projeto.

A vida útil das luminárias influencia na quantidade de períodos que a luminária irá gerar um retorno financeiro. Luminárias com vida útil acima do estimado irá gerar retorno financeiro por um maior período de tempo aumentando o valor do VPL. Em contrapartida, luminárias com uma vida útil menor do que a estimada irá diminuir o valor do VPL.

As premissas relacionadas ao valor das luminárias, troca de luminárias e IPCA podem influenciar de forma positiva ou negativa nas saídas do projeto de eficiência energética, haja visto que o valor das luminárias e o valor da mão de obra para a troca das luminárias influenciam diretamente no investimento necessário para realizar o projeto. Vale lembrar que foi adotado como premissa que o valor da mão de obra e preço das luminárias são constantes ao longo do projeto. Caso ocorra uma diminuição do valor das luminárias ou da mão de obra o investimento necessário para realizar o projeto será menor, gerando um VPL maior do que o estimado. E caso ocorra um aumento no valor das luminárias e no valor da mão de obra irá aumentar o investimento necessário para realizar o projeto, consequentemente irá diminuir o VPL do projeto.

O IPCA influencia no custo de capital de terceiros, visto que para realizar o projeto é necessário realizar um empréstimo. Para realizar as simulações dos cenários foi considerado os parâmetros do BNDES, o valor da taxa do empréstimo depende do IPCA. Assim, caso o IPCA seja menor do que o estimado, o custo relacionado ao capital de terceiros será menor, aumentando o VPL do projeto. Por outro lado, caso o IPCA seja maior do que o estimado o custo com capital de terceiros será maior, diminuindo o valor do VPL.

Como podemos observar as incertezas relacionadas as premissas adotadas podem influenciar de forma positiva ou negativa no VPL do projeto. Porém os riscos mencionados são inerentes ao projeto, é possível utilizar ferramentas para avaliar o risco e adotar respostas ao risco como mitigar, transferir, eliminar ou aceitar o risco.

7.11.1 Monte Carlo

Uma das formas de avaliar a incerteza das premissas utilizadas é pelo método de Monte Carlo. O método de Monte Carlo representa uma simulação a qual recorre a

iterações para se aproximar do valor mais provável. Por meio do modelo utilizado, obtém-se uma expressão matemática, a qual é chamada de função objetivo. O Resultado dessa expressão, ou a saída do modelo, é o valor qual sofre incertezas e se quer conhecer.

As interações realizadas na simulação são, na verdade o resultado do cálculo da expressão matemática, porém realizado diversas vezes. A cada interação, ocorre um sorteio dos valores dos parâmetros, e a incidência dos valores obtidos no sorteio obedece à distribuição correspondente. Assim, o resultado obtido em cada uma das iterações é acumulado, formando uma nova distribuição, a qual deverá conter um valor central, o qual será o mais significativo.

O método de Monte Carlo é uma ferramenta amplamente utilizada em diversas áreas de pesquisa: é usada para análise de design aeronáutico e simulação de falhas; é utilizado para simular cenários de investimentos econômicos; representa uma ferramenta e cálculo, a qual busca valores de integrais não conhecidas.

Será utilizado o modelo de Monte Carlo para simular cenários de investimentos econômicos, onde será realizado o sorteio dos parâmetros de tarifa de energia e vida útil das luminárias. Esses dois parâmetros foram considerados pois possuem maior influência no retorno econômico do projeto.

7.11.2 Resultados da análise de monte Carlos

A partir do método de Monte Carlo foi possível determinar o histograma para diversos cenários. Foram realizadas simulações considerando 5 valores para o parâmetro percentual de troca, 20%,40%,60%,80% e 100%. Além do percentual de troca foram realizadas simulações para diferentes anos de execução do projeto de eficiência energética, foram analisados para 1,2,3,4 e 5 anos de execução do projeto.

A seguir será apresentado os histogramas para todos os cenários analisados.

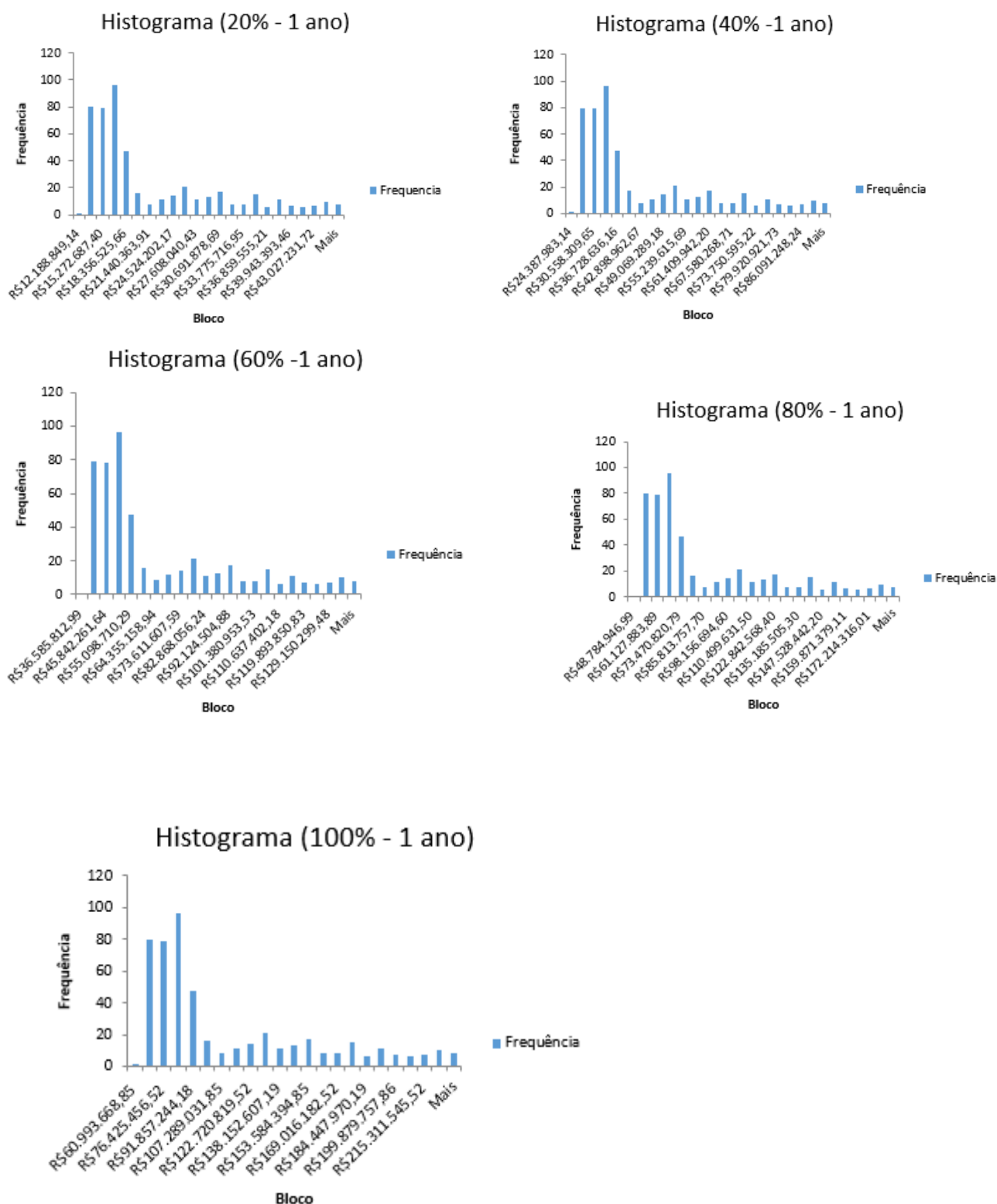


Figura 32: Histogramas para 1 ano de execução do projeto

Fonte: Elaboração do autor (2020)

A partir dos histogramas foi elaborado o Quadro 21, onde apresenta o valor do VPL pico, ou seja, os valores mais comuns e a dispersão, ou seja, a faixa de valores

onde a amostra está distribuída. No Quadro 22, também apresenta a probabilidade de conseguir um VPL igual ou maior que o VPL pico.

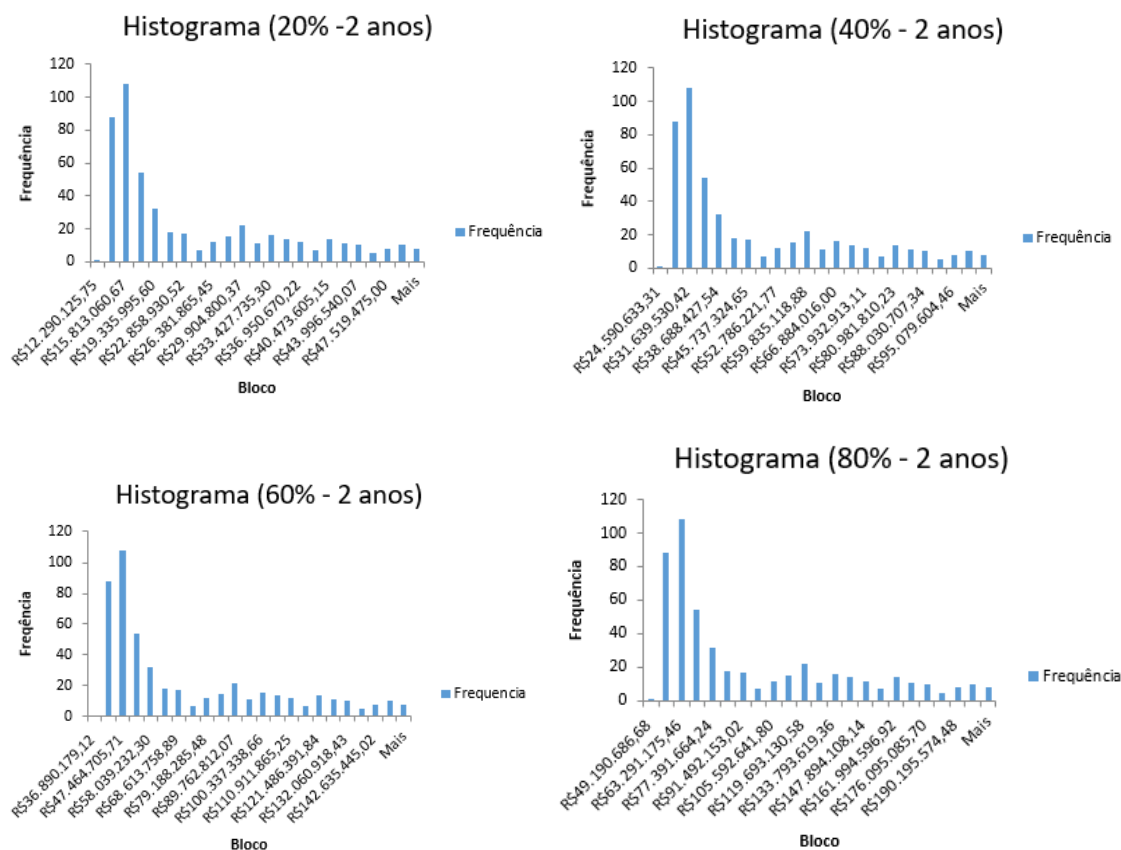
Temos que o VPL mais provável para o cenário com um percentual de troca de 20% é de aproximadamente R\$ 16.814.606,52, e que a probabilidade de se obter um VPL igual ou superior ao apresentado é de 68%. Também podemos observar que os resultados estão dispersos entre R\$ 12.188.849,14 e R\$ 46.11.069,98.

A partir dos histogramas apresentados na Figura 32 podemos observar que não há uma distribuição normal dos valores encontrados, visto que, a maior frequência de valores nos agrupamentos iniciais.

Quadro 22: VPL pico e dispersão para 1 ano de execução do projeto

Percentual de troca	VPL Pico (igual ou maior)	Probabilidade	Dispersão (Mínimo)	Dispersão (Máximo)
20%	R\$16.814.606,52	68%	R\$12.188.849,14	R\$46.111.069,98
40%	R\$33.643.472,91	68%	R\$24.387.983,14	R\$92.261.574,75
60%	R\$50.470.485,96	68%	R\$36.585.812,99	R\$138.406.748,13
80%	R\$67.299.352,34	68%	R\$48.784.946,99	R\$184.557.252,91
100%	R\$84.141.350,35	68%	R\$60.993.668,85	R\$230.743.333,19

Fonte: Elaboração do autor (2020)



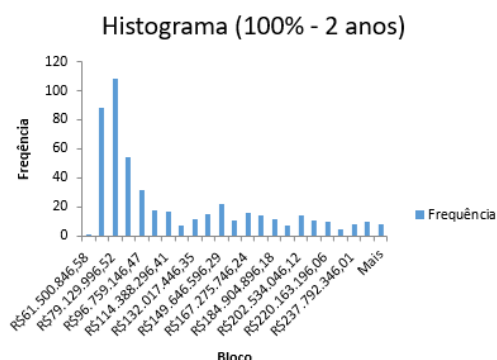


Figura 33: Histogramas para 2 ano de execução do projeto

Fonte: Elaboração do autor (2020)

Quadro 23: VPL pico e dispersão para 2 anos de execução do projeto

Percentual de troca	VPL Pico (igual ou maior)	Probabilidade	Dispersão (Mínimo)	Dispersão (Máximo)
20%	R\$15.813.060,67	82%	R\$12.290.125,75	R\$51.042.409,92
40%	R\$31.639.530,42	82%	R\$24.590.633,31	R\$102.128.501,57
60%	R\$47.464.705,71	82%	R\$36.890.179,12	R\$153.209.971,61
80%	R\$63.291.175,46	82%	R\$49.190.686,68	R\$204.296.063,26
100%	R\$79.129.996,52	82%	R\$61.500.846,58	R\$255.421.495,95

Fonte: Elaboração do autor (2020)

A partir dos histogramas foi elaborado o Quadro 23, onde apresenta o valor do VPL pico, ou seja, os valores mais comuns e a dispersão, ou seja, a faixa de valores onde a amostra está distribuída. No Quadro 23, também apresenta a probabilidade de conseguir um VPL igual ou maior que o VPL pico.

Temos que o VPL mais provável para o cenário com um percentual de troca de 20% é de aproximadamente R\$ 15.813.060,67, e que a probabilidade de se obter um VPL igual ou superior ao apresentado é de 82%. Também podemos observar que os resultados estão dispersos entre R\$ 12.290.125,75 e R\$ 51.042.409,92.

A partir dos histogramas apresentados na Figura 33 podemos observar que os valores encontrados não apresentam uma distribuição normal dos valores encontrados, visto que, a maior frequência de valores nos agrupamentos iniciais.

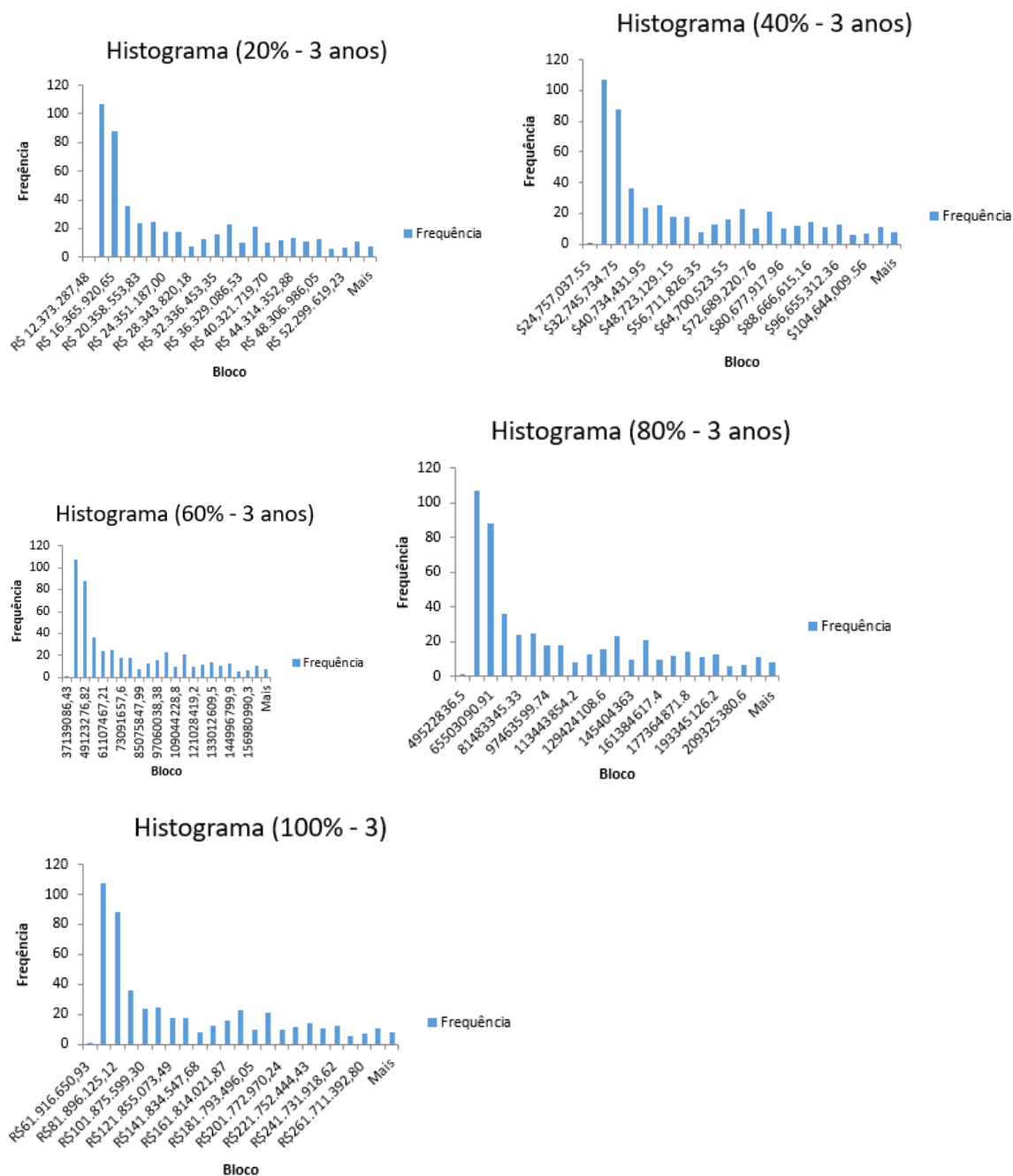


Figura 34: Histogramas para 3 ano de execução do projeto

Fonte: Elaboração do autor (2020)

Quadro 24: VPL pico e dispersão para 3 anos de execução do projeto

Percentual de troca	VPL Pico (igual ou maior)	Probabilidade	Dispersão (Mínimo)	Dispersão (Máximo)
20%	R\$14.369.604,07	99,80%	R\$12.373.287,48	R\$56.292.252,40
40%	R\$28.751.386,15	99,80%	R\$24.757.037,55	R\$112.632.706,76
60%	R\$43.131.181,62	99,80%	R\$37.139.086,43	R\$168.965.180,71
80%	R\$57.512.963,71	99,80%	R\$49.522.836,50	R\$225.305.635,06
100%	R\$71.906.388,02	99,80%	R\$61.916.650,93	R\$281.690.866,99

Fonte: Elaboração do autor (2020)

A partir dos histogramas foi elaborado o Quadro 24, onde apresenta o valor do VPL pico, ou seja, os valores mais comuns e a dispersão, ou seja, a faixa de valores onde a amostra está distribuída. No Quadro 24, também apresenta a probabilidade de conseguir um VPL igual ou maior que o VPL pico.

Temos que o VPL mais provável para o cenário com um percentual de troca de 20% é de aproximadamente R\$ 14.369.604,07 e que a probabilidade de se obter um VPL igual ou superior ao apresentado é de 99,80%. Também podemos observar que os resultados estão dispersos entre R\$ 12.373.287,48 e R\$ 56.292.252,40.

A partir dos histogramas apresentados na Figura 34 podemos observar que os valores encontrados não apresentam uma distribuição normal dos valores encontrados, visto que, a maior frequência de valores nos agrupamentos iniciais.

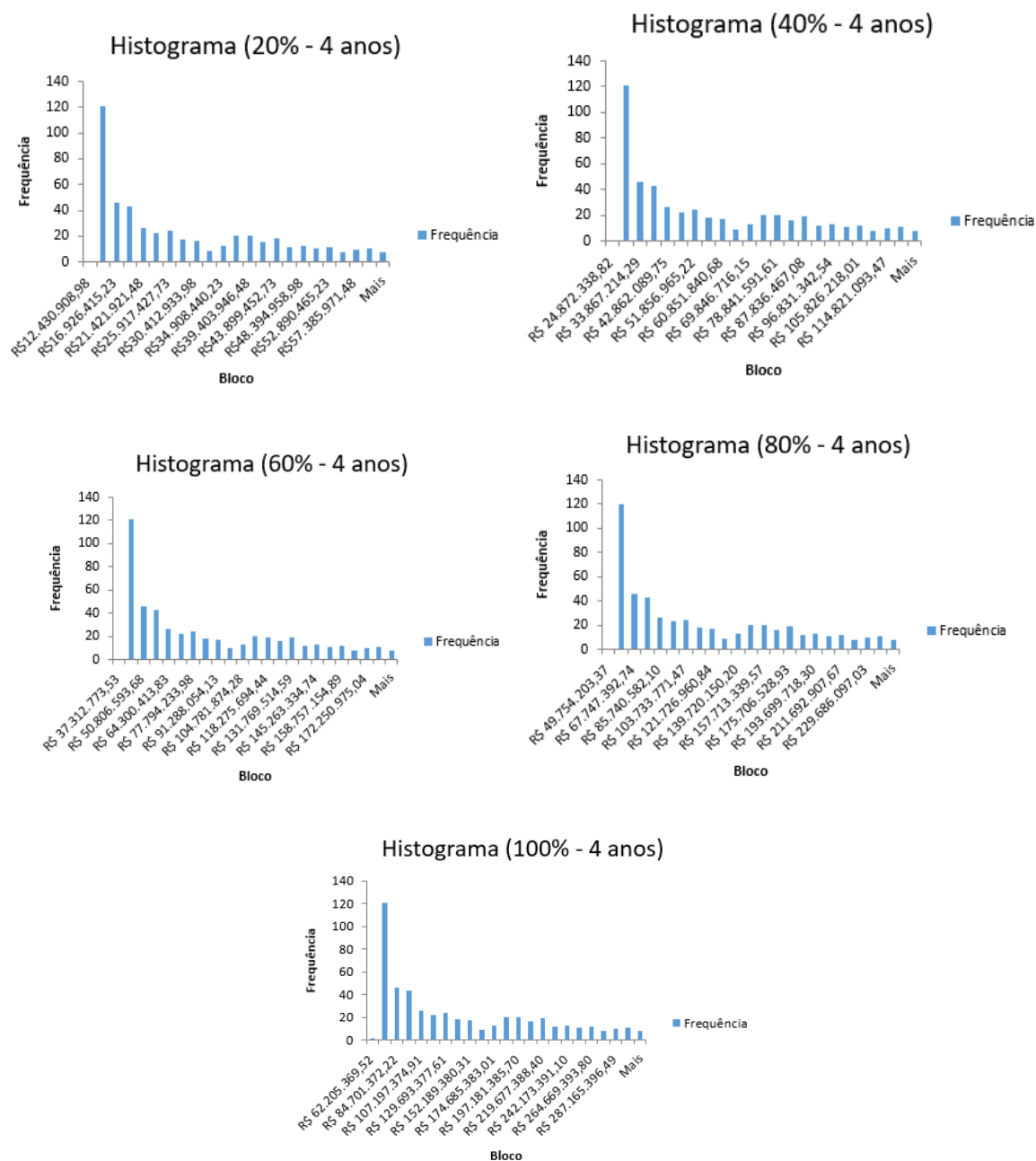


Figura 35: Histogramas para 4 ano de execução do projeto

Fonte: Elaboração do autor (2020)

Quadro 25: VPL pico e dispersão para 4 anos de execução do projeto

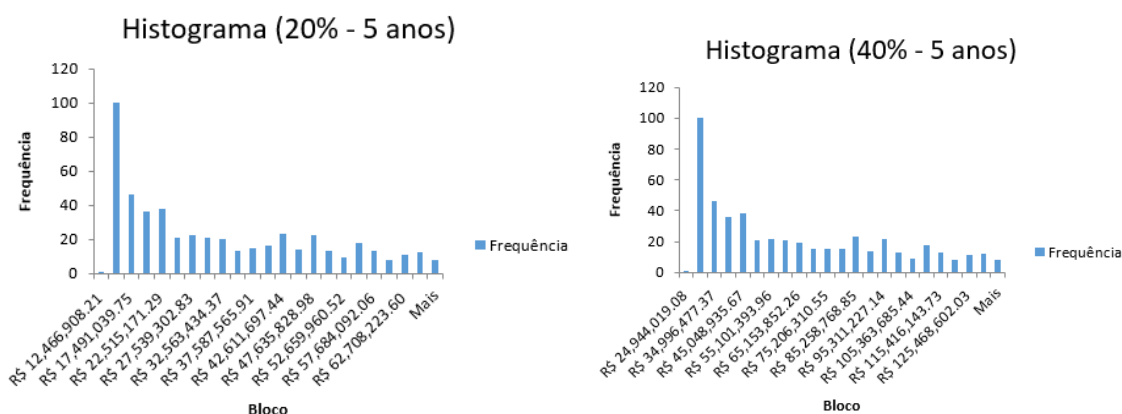
Percentual de troca	VPL Pico (igual ou maior)	Probabilidade	Dispersão (Mínimo)	Dispersão (Máximo)
20%	R\$14.678.662,11	99,80%	R\$12.430.908,98	R\$61.881.477,73
40%	R\$29.369.776,55	99,80%	R\$24.872.338,82	R\$123.815.968,94
60%	R\$44.059.683,61	99,80%	R\$37.312.773,53	R\$185.744.795,19
80%	R\$58.750.798,05	99,80%	R\$49.754.203,37	R\$247.679.286,40
100%	R\$73.453.370,87	99,80%	R\$62.205.369,52	R\$309.661.399,19

Fonte: Elaboração do autor (2020)

A partir dos histogramas foi elaborado o Quadro 25, onde apresenta o valor do VPL pico, ou seja, os valores mais comuns e a dispersão, ou seja, a faixa de valores onde a amostra está distribuída. No Quadro 25, também apresenta a probabilidade de conseguir um VPL igual ou maior que o VPL pico.

Temos que o VPL mais provável para o cenário com um percentual de troca de 20% é de aproximadamente R\$ 14.678.662,11 e que a probabilidade de se obter um VPL igual ou superior ao apresentado é de 99,80%. Também podemos observar que os resultados estão dispersos entre R\$ 12.430.908,98 e R\$ 61.881.477,73.

A partir dos histogramas apresentados na Figura 35 podemos observar que os valores encontrados não apresentam uma distribuição normal dos valores encontrados, visto que, a maior frequência de valores nos agrupamentos iniciais.



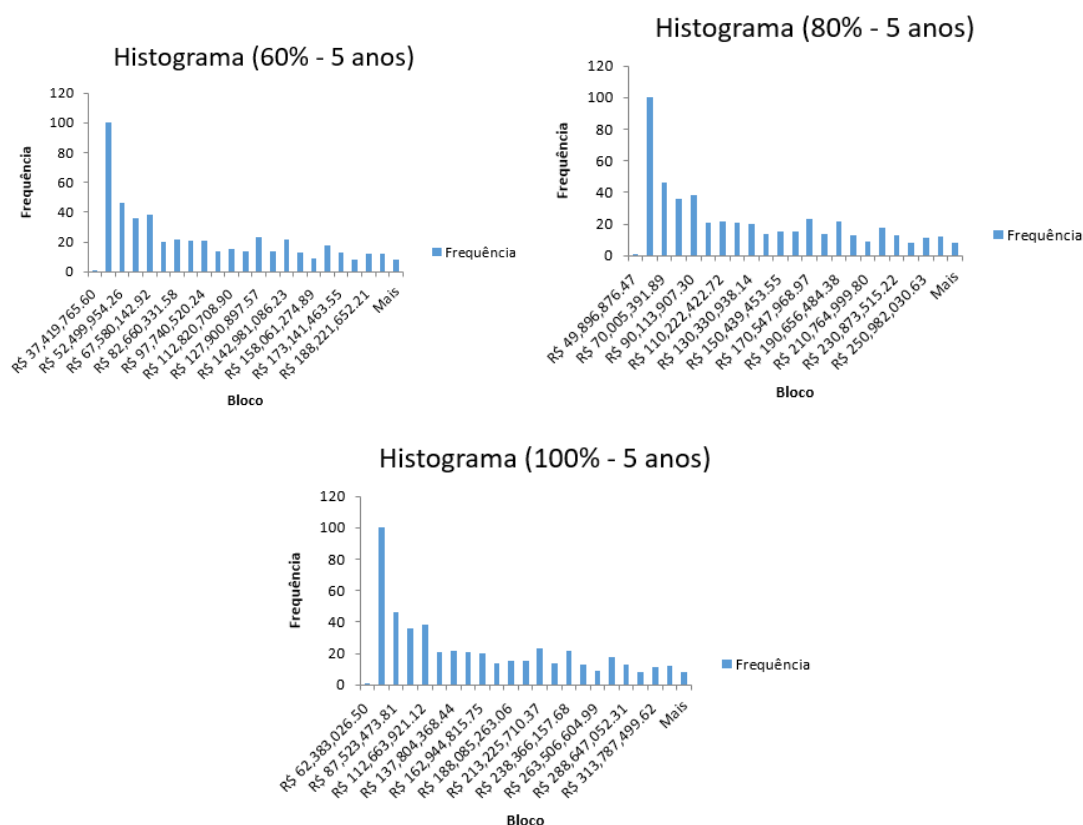


Figura 36: Histogramas para 5 ano de execução do projeto

Fonte: Elaboração do autor (2020)

Quadro 26: VPL pico e dispersão para 5 anos de execução do projeto

Percentual de troca	VPL Pico (igual ou maior)	Probabilidade	Dispersão (Mínimo)	Dispersão (Máximo)
20%	R\$14.978.973,98	99,80%	R\$12.466.908,21	R\$67.732.355,14
40%	R\$29.970.248,23	99,80%	R\$24.944.019,08	R\$135.521.060,32
60%	R\$44.959.859,93	99,80%	R\$37.419.765,60	R\$203.301.840,87
80%	R\$59.951.134,18	99,80%	R\$49.896.876,47	R\$271.090.546,05
100%	R\$74.953.250,16	99,80%	R\$62.383.026,50	R\$338.927.946,93

Fonte: Elaboração do autor (2020)

A partir dos histogramas foi elaborado o Quadro 26, onde apresenta o valor do VPL pico, ou seja, os valores mais comuns e a dispersão, ou seja, a faixa de valores onde a amostra está distribuída. No Quadro 26, também apresenta a probabilidade de conseguir um VPL igual ou maior que o VPL pico.

Temos que o VPL mais provável para o cenário com um percentual de troca de 20% é de aproximadamente R\$ 14.978.973,98 e que a probabilidade de se obter um

VPL igual ou superior ao apresentado é de 82%. Também podemos observar que os resultados estão dispersos entre R\$ 12.466.908,21 e R\$ 67.732.355,14.

A partir dos histogramas apresentados na Figura 36 podemos observar que os valores encontrados não apresentam uma distribuição normal dos valores encontrados, visto que, a maior frequência de valores nos agrupamentos iniciais.

Podemos observar a partir dos resultados encontrados que para todos os cenários simulados o VPL do projeto é positivo, o que demonstra a atratividade do projeto. A partir do método de Monte Carlo também foi possível determinar o VPL mais provável de cada um dos cenários e qual a probabilidade do VPL do projeto alcançar um valor igual ou superior ao VPL mais provável. Também é possível observar a dispersão dos valores, ou seja, o menor e o maior valor encontrado para um determinado cenário de percentual de troca de luminárias e de tempo de execução do projeto.

8. CONCLUSÃO

A iluminação pública é uma condição extremamente necessária para a qualidade de vida em um município, ela tem caráter fundamental no convívio dos seres humanos, pois atua na segurança pública, prevenindo a criminalidade e também permite desfrutar o espaço público, facilita circulação de pedestres e automóveis, embeleza áreas urbanas, entre outras vantagens.

Ao realizar esse estudo de caso, buscou-se analisar o sistema de iluminação presente na região administrativa do Gama, a fim de propor soluções que reduziria o custo com energia elétrica e promovesse melhorias a qualidade de vida dos habitantes.

Por meio do estudo do setor elétrico foi possível determinar em qual ambiente de contratação e em qual grupo tarifário a iluminação pública se encontra. Além de compreender a composição da tarifa de energia e como as bandeiras tarifárias influência no valor monetário pago pelo uso da energia elétrica.

A partir da análise de risco foi possível descrever os principais risco associados ao investimento em projeto de eficiência energética. Por meio do método de Monte Carlo foi possível avaliar o impacto do principal risco, o valor da tarifa de energia elétrica, e como esse parâmetro influência no VPL do projeto.

O projeto de eficiência energética para o parque de iluminação pública apresenta indicadores financeiros atrativos. Utilizando como exemplo o cenário considerando 1 anos de execução do projeto, um percentual de troca de 20% e sem reinvestimos, temos um VPL de R\$ 10.333.852,01. O projeto apresenta um índice de lucratividade de 3,35, uma taxa de retorno interno (TIR) de 19% e uma payback descontado de 9 anos.

Considerando o mesmo cenário comentado anteriormente, pela análise de Monte Carlo, temos o VPL mais provável de R\$ 16.814.606,52, com probabilidade de 68% de que o projeto gerar um VPL igual ou superior ao apresentado. Tal projeto além de proporcionar um retorno financeiro considerável irá promover melhorias na qualidade de vida, segurança e lazer da região administrativa do Gama.

Referências Bibliográfica

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR ISO 31000: Gestão de Riscos - Princípios e Diretrizes, Rio de Janeiro, 2009..

ABREU, Y.V, A reestruturação do setor elétrico brasileiro: questões e perspectivas. São Paulo, BR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Paulo, 1999.

Agência Nacional de Energia Elétrica Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública. ANEEL. [Online] 2016. [Citado em: 16 de setembro de 2019.] <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Por+dentro+da+conta+de+luz/9b8bd858-809d-478d-b4c4-42ae2e10b514>

Agência Nacional de Energia Elétrica, Bandeiras Tarifárias, ANEEL. Disponível em :<https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias> , acessado em 04/10/2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em < <https://www.aneel.gov.br/> >, último acesso dia 02 de setembro de 2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica, Indicadores Individuais de Continuidade por Município, disponível em : <https://www.aneel.gov.br/limites-dos-indicadores-de-continuidade-por-municipio>, acessado em 12/10/2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica, Por dentro da conta de luz, disponível em : [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Cartilha%20CEB PDF.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Cartilha%20CEB%20PDF.pdf), a cessado em 12/10/2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa nº 414/2010, ANEEL, 2010.

Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa nº 514, de 9 de setembro de 2010, ANEEL,2010.

Agência Nacional de Energia Elétrica, **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 888**, DE 30 DE JUNHO DE 2020, ANEEL, 2020.

Aguera, R. S – Cenário brasileiro da Iluminação Pública- Trabalho de conclusão de curso, São Carlos-SP ,2015

Alíquotas Do ICMS, OPERAÇÕES/PRESTAÇÕES INTERNAS, disponível em: <http://www.informanet.com.br/Prodinfo/agenda/2006/df-go-to/quadrosinoticoicms.htm> , acessado em 02/11/2020.

Andréa de Souza; Jorge Carlos Correa Guerra; Eduardo Leite Kruger ,Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico, 2011. Revista Tecnologia e Sociedade - 1ª Edição, 2011 ISSN (versão online): 1984-3526

ANEEL propôs rateio do ESS entre todos os consumidores do Sistema Interligado Nacional, Mercado Livre de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.mercadolivredeenergia.com.br/noticias/aneel-propos-rateio-do-ess-entre-todos-os-consumidores-do-sistema-interligado-nacional/>, acessado em: 01/11/2020.

ARAUJO, J. L. A questão do investimento no setor elétrico brasileiro: reforma e crise. Nova Economia, 11 (1), 77-96. 2001.

Associação Brasileira de Comercializadores de Energia, **Cartilha Mercado livre de energia**, ABRACEEL . Disponível em <<http://www.abraceel.com.br/>>. Acessado em 01 de setembro de 2020.

Associação Brasileira de Comercializadores de Energia, **Consumidores no mercado livre de energia crescem 24% em 2019**, 28/02/2020. Disponível em: <https://abraceel.com.br/blog/2020/02/consumidores-mercado-livre-de-energia-crescem-24-em-2019/> , acessado em: 14/10/2020.

Ayres, R. Szuster, N. PIS/PASEP, COFINS e EFD - contribuições: aplicações da legislação na contabilidade tributária- percepção de especialistas em tributos, Advances in Scientific and Applied Accounting · January 2012. Disponível em : https://www.researchgate.net/publication/284461046_PISPASEP_COFINS_e_EFD-contribuicoes_aplicacao_da_legislacao_na_contabilidade_tributaria_-_percepcao_de_especialistas_em_tributos , acessado em 02/11/2020.

Bakman,I. **ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE UM PROJETO DE ILUMINAÇÃO LED**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ,2018.

BLANK, P. E., TARQUIN, P. E. Basics of Engineering Economy. McGraw Hill Higher Education, 2008.

Boletim Semanal da Curva Forward – Semana 45/2020, Dcide, 2020. Disponível em <https://www.dcide.com.br/wp-content/uploads/2020/11/Boletim-S45-1.pdf>, acessado em 09/11/2020.

BONA,G.L , SISTEMA ONLINE PARA CÁLCULO DE JUROS BANCÁRIOS,Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Rio Grande do Sul,2013.

Brasil, Decreto de 18 de julho de 1991 – Brasil, Brasília, DF. 1991.
Brasil, **DECRETO Nº 40.898, DE 17 DE JUNHO DE 2020** , Brasília, DF. 2020

Brasil, **DECRETO Nº 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004**. Brasília, DF: Senado Federal, 2004.

Brasil, **Lei Federal nº 8.987**, de 13 de fevereiro de 1995, Brasília, DF: Senado Federal, 1995.

Brasil. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, Regras de Comercialização - Contratos. Relatório técnico, CCEE, 2018.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.ccee.org.br> . Último acesso 01 de setembro de 2020.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.ccee.org.br> . Último acesso 01 de setembro de 2020.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Regras de Comercialização - Contratos. 2019. Relatório técnico.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Regras de Comercialização – Agentes**. CCEE. 2019. Técnico.

Câmara de Comercialização de Energia elétrica- **VISÃO GERAL DAS OPERAÇÕES NA CCEE**, CCEE ,2010.

CCEE, Regras de Comercialização - Votos e Contribuição Associativa, 2013, São Paulo.

CHAGAS, M.E., O setor elétrico brasileiro: o modelo após a reforma de 2004, Florianópolis, BR. MONOGRAFIA. Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

CODEPLAN - COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. Brasília Metropolitana. Brasília, 2019.

Codeplan, Projeções Populacionais para as Regiões Administrativas do Distrito Federal 2010-2020, disponível em <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/Sum%C3%A1rio-Executivo-Proje%C3%A7%C3%B5es-Populacionais.pdf>, acessado em 21/09/2020.

CODI, 1984 – Iluminação Pública, Procedimentos Comerciais, Recomendações – Relatório SCSC.30.02 de 28/11/1984, Comitê de Distribuição (CODI). Rio de Janeiro – 27p.

Companhia Energética de Brasília, **NORMA TÉCNICA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA NTIP - 1.01**, CEB , 2017.

Companhia Energética de Brasília, **Tarifas do Grupo B- Setembro/2020**, CEB 2020.

Companhia Energética de Brasília, TARIFAS DO GRUPO B, Disponível em <http://ceb.com.br/index.php/tudo-sobre-a-conta-de-luz/370-tudo-sobre-a-conta-de-luz>, acessado em:01/11/2020.

Companhia Paranaense de Energia , **MANUAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**, COPEL , Paraná,2012

Concessões de iluminação pública em Belém (PA) e Sapucaia do Sul (RS) são arrematadas nesta sexta-feira (6), Governo Federal, Ministério do Desenvolvimento Regional, 06/11/2020. Disponível em : <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/concessoes-de-iluminacao-publica-em-belem-pa-e-sapucaia-do-sul-rs-sao-arrematados-nesta-sexta-feira-6>, acessado em 07/11/2020.

CONPET, disponível em: http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml , acessado em 13/09/2020.

COOPERS E LYBRAND, Estágio VII do projeto de reestruturação do setor elétrico brasileiro, Relatório Principal, V. ii,1997

CORREIA, T.B.; MELO, E.; COSTA, A. M.; SILVA, A.J, **Trajetória das Reformas Institucionais da Indústria Elétrica Brasileira e Novas Perspectivas de Mercado**, Revista Economia, v.7, n.3, p.607–627,2006

Cunha, L, M,L , DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL MÉDIA, Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1762117/mod_resource/content/1/aula2-2016.pdf, acessado em 30/10/2020.

Eficiência Energética, EPE . Disponível em : <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>, acessado em 13/09/2020.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Business Analysis for Energy-Efficiency Investments. EPA, June 1998. 12 p.

Entenda o que é Índice de Reprodução de Cor (IRC) - Poucas pessoas ainda não conhecem ainda! ,HODARI. Disponível em <https://www.hodari.com.br/post/entenda-o-que-e-indice-de-reproducao-de-cor-irc> , acessado em 16/09/2020.

EPE, Taxa de desconto aplicada na avaliação das alternativas de expansão, Rio de Janeiro ,2003.

Equipa Care , disponível em : <http://equipacare.com.br/dicas-para-implantacao-de-salas-cirurgicas-inteligentes/> , acessado em 16/09/2020

Fazenda do Distrito Federal, Conta de luz de Brasília está irregular, disponível em <http://www.fazenda.df.gov.br/aplicacoes/noticia/detalhadaClipping.cfm?codNoticia=7517>, acessado em 12/10/2020.

FERREIRA DE VASCONCELOS, F. Manual de tarifação de energia elétrica para prestadores de serviços saneamento. AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner. 2016.

FILARDI, F.; LEITE, A. L.; TORRES, A. A. **Análise de resultados de indicadores de gestão e de regulação após a privatização: estudo de caso da Light Serviços de Eletricidade**. Revista de administração, 18-22.2014.

FRÓES S, LUSTOSA L – Iluminação pública no Brasil: Aspectos energéticos e Institucionais, Rio de Janeiro, Rj, 2006.

GABRIEL, Estela Duarte. **Análise da iluminação natural e artificial em áreas de convivência: Um estudo da percepção no pátio da Escola de Minas - UFOP**. 2017. 53 p. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

GITMAN, L. J. Princípios de Administração Financeira. 10ª Edição. São Paulo: Ed. Addison Wesley, 2004.

Governo amplia acesso ao mercado livre de energia – mas consumidor residencial fica de fora, abraceel,2020 <https://abraceel.com.br/clipping/2020/01/governo-amplia-acesso-ao-mercado-livre-de-energia-mas-consumidor-residencial-fica-de-fora/#:~:text=A%20Associa%C3%A7%C3%A3o%20Brasileira%20dos%20Comercializadores,escolha%20a%20todos%20os%20consumidores%E2%80%9D.&text=No%20Brasil%20n%C3%A3o%20h%C3%A1%20esse%20tipo%20de%20negocia%C3%A7%C3%A3o>, acessado em 13/09/2020.

HABERT, N. A década de 70: apogeu e crise da ditadura militar brasileira. 3. ed. São Paulo: Ática, 1996.

HUNT, S. Making competition work in electricity. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

IBGE, disponível em, <https://cidades.ibge.gov.br>, acessado em 21/09/2020.

Iluminação eficiente: CEB testa troca de lâmpadas mirando ampliar economia, , Agência Brasília . Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2019/09/24/iluminacao-eficiente-ceb-testa-troca-de-lampadas-mirando-ampliar-economia/>, acessado em 16/09/2020.

Iluminação para Restaurante , Lumilandia. Disponível em <https://lumilandia.com.br/blog/iluminacao-para-restaurante/>, acessado em 16/09/2020.

Instituto Brasileiro de Executivos de Finanças, Gestão de risco no mercado livre de energia., Rio de Janeiro, 2020.

Instituto Federal de Santa Catarina, Projeto e Instalações Elétricas Prediais - Joinville, IFSC
Disponível em http://joinville.ifsc.edu.br/~edsonh/Repositorio/PIP-Projeto_e_Instalacoes_Eletricas_Prediais/Material%20de%20Aula/Parte_II_Luminot%C3%A9cnica/Apostilas/Conceito_Ilumina%C3%A7%C3%A3o.pdf.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. O que é eficiência Energética. 2018. Disponível em: . Acesso em: 13/09/2020.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia ,**Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, INMETRO**
[.http://www.inmetro.gov.br/imprensa/releases/PBE.asp](http://www.inmetro.gov.br/imprensa/releases/PBE.asp), acessado em 13/09/2020.

Justo . Et al. Cálculo Numérico Um Livro Colaborativo Versão Python, UFRGS, 2020.

Lopes,L.B , **UMA AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,2014.

LORENZO, H. C. **O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PASSADO E FUTURO. PERSPECTIVAS**, pp. 147-170. 2001

LOSEKANN, L. **Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro: Coordenação e Concorrência. Rio de Janeiro, BR. Tese (Doutorado)**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

Luz e visão, Mundo Educação, 2020. Disponível em:
<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/luz-visao.htm> Acesso em: 10, julho e 2020.

Maria,T,C,J . **ANÁLISE DOS CONTRATOS E RISCOS ASSOCIADOS AO MERCADO DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**. Juiz de Fora-MG, Trabalho de Conclusão de Curso(TCC). Universidade Federal de Juiz de Fora,2018.

Mascaro, Lucia Elvira Alicia Raffo de . “A iluminação do espaço urbano”; p.20-27 (2006)

MAZZAROPPI, M. , Sensores de movimento e presença, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro RF,2007.

MME - Ministério de Minas e Energia (2011). Plano Nacional de Eficiência Energética (Premissa e Diretrizes Básicas). MME, 2011.

MME , Relatório do Grupo Temático Abertura de Mercado, MME, disponível em : <http://www.mme.gov.br/documents/36070/525274/Abertura+de+Mercado.pdf/15b12f12-1f5b-09e9-ec0a-c0a7c756ebc4> acessado em 13/09/2020.

MME na Nota Técnica nº4/2016, Minsiterio de Minas e Energia , disponível : http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=1f11e545-9664-9b73-5f3b-947e31830561&groupId=36070, acessado em: 13/09/2020

NERY, E. Mercados e Regulação de Energia Elétrica. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012.

Novicki J.M. , Martinez R - LEDS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA Universidade Federal do Paraná Curitiba – Paraná – Brasil, 2018

Oliveira, Y,M **O MERCADO LIVRE DE ENERGIA NO BRASIL: APRIMORAMENTOS PARA SUA EXPANSÃO** , pp.10. 2017.

ONS – Operador Nacional do Sistema. Disponível em: < <http://www.ons.org.br/> >. Último acesso 02 de setembro de 2020.

OSRAM LICHT AG, Manual luminotécnico. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/krlosars/osram-manual-luminotcnico-pratico>, acessado em 10/09/2020.

Outorga: CEB ganha autonomia para executar serviços pelos próximos 30 anos, 22/07/2020, Metrôpoles ,Brasília-DF.

Pesquisa Distrital por amostra de domicílios PDAD – 2015, CODEPLAN,2015, Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/PDAD-Gama-1.pdf>, acessado em 01/09/2020.

Portal Action, 6.4 - TESTE DE SHAPIRO-WILK, Disponível em: <http://www.portalaaction.com.br/inferencia/64-teste-de-shapiro-wilk>, acessado em 30/10/2020.

Procedimentos de Comercialização - Agentes. Relatório técnico, CCEE, 2017.

Procedimentos de Rede - Submódulo 12.2: Instalação do sistema de medição para faturamento. Relatório técnico, ONS, 2016.

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, O programa – Procel, Proinfo, disponível em : <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD%7D> , acessado em 13/09/2020.

Projeção da atualização tecnológica do parque de iluminação PÚBLICA no Brasil, O SETOR ELETRICO, MARÇO,2020. Disponível em:

<https://www.osetoreletrico.com.br/projecao-da-atualizacao-tecnologica-do-parque-de-iluminacao-publica-no-brasil/> , acessado em 09/09/2020.

Quem participa: Como se dividem. CCEE. Disponível em :https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quemparticipa/como_se_dividem

Rezende, R., Índice de Lucratividade, Pontifícia Universidade Católica de Goiás Escola de Engenharia, Goiás, 2000.

RIBEIRO, Z. B. **PARÂMETROS PARA ANÁLISE DE PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ELETRICIDADE**. 2018. 144 f. Dissertação (Mestrado) — Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, 2005.

Rizkalla F. F., **MIGRAÇÃO PARA O MERCADO LIVRE DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Rodrigues C. F.K. , Rozenfeld H. Análise de Viabilidade Econômica, Integrated and integration Engineering Group.

Rosito ,L H - DESENVOLVIMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL, REVISTA “O SETOR ELÉTRICO”, 2009.

SALES, R.P , LED, **O NOVO PARADIGMA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA** , INSTITUTO DE ENGENHARIA DO PARANÁ – IEP, Paraná, 2011.

SALOMÃO, T.M , **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: PROJETO LUMINOTÉCNICOS EM PLANTAS INDUSTRIAIS**, Tese de Mestrado , Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SARDÁ, J.A.S, **ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO Á INDÚSTRIA SUDATI PAINÉIS**, CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST, LAGES-2018.

Sazonalização: uma estratégia importante na contratação de energia. Esfera Energia. Disponível em : <https://esferaenergia.com.br/blog/sazonizacao/>, acessado em 23/09/2020.

Silva, M. P e Fonte , A.A, DISCUSSÃO SOBRE OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL), VALOR ANUAL EQUIVALENTE (VAE) E VALOR ESPERADO DA TERRA (VET), R. Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.931-936, 2005, Sociedade de Investigações Florestais, 2005

Silva, N.E **APLICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E USO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NA ILUMINAÇÃO DE OUTDOORS**, Monografia, UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, Uberlândia- MG, 2017.

Silva , L.L , **ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL: ASPECTOS ENERGÉTICOS E INSTITUCIONAIS**, Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

Silva , T,C . Neto , P, B, Lei dos Grandes Números, 2019. Disponível em: <https://www.rpubs.com/pedrin1/533227>, acessado em 30/10/2020.

SOUZA, M. B. **IMPACTO DA LUZ NATURAL NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS EM FLORIANÓPOLIS**. 1995. 191p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, novembro/95.

TEIXEIRA, P.R - **O BRASIL PÓS-MILAGRE ECONÔMICO: OS IMPACTOS DO CHOQUE DO PETRÓLEO NA RECESSÃO DE 1973 E O II PND**, Monografia-FLORIANÓPOLIS-SC,2015.

TOLMASQUIM, M. T. Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro. 2ª ed. Synergia, 2015

Vergara, Sylvia Constant Projetos e relatórios de pesquisa em administração / Sylvia Constant Vergara. – 16. ed. – São Paulo: Atlas, 2016.

VIANNA, N. S. e GONÇALVES, J. C. S. Iluminação e Arquitetura. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001. 378p.

Anexo 01: Coeficientes (Shapiro-Wilk)

i \ n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	0,70 71	0,70 71	0,68 72	0,66 46	0,64 31	0,62 33	0,60 62	0,58 88	0,57 39	0,56 01	0,54 75	0,53 59	
2			0,16 77	0,24 13	0,28 06	0,30 31	0,31 64	0,32 44	0,32 91	0,33 15	0,33 25	0,33 25	
3					0,08 75	0,14 01	0,17 43	0,19 76	0,21 41	0,22 60	0,23 47	0,24 12	
4							0,05 61	0,09 47	0,12 24	0,14 29	0,15 86	0,17 07	
5									0,03 99	0,06 95	0,09 22	0,10 99	
6											0,03 03	0,05 39	
i \ n	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	0,52 51	0,51 50	0,50 56	0,49 68	0,48 86	0,48 08	0,47 34	0,46 43	0,45 90	0,45 42	0,44 93	0,44 50	
2	0,33 18	0,33 06	0,32 90	0,32 73	0,32 53	0,32 32	0,32 11	0,31 85	0,31 56	0,31 26	0,30 98	0,30 69	
3	0,24 60	0,24 95	0,25 21	0,25 40	0,25 53	0,25 61	0,25 65	0,25 78	0,25 71	0,25 63	0,25 54	0,25 43	
4	0,18 02	0,18 78	0,19 39	0,19 88	0,20 27	0,20 59	0,20 85	0,21 19	0,21 31	0,21 39	0,21 45	0,21 48	
5	0,12 40	0,13 53	0,14 47	0,15 24	0,15 87	0,16 41	0,16 86	0,17 36	0,17 64	0,17 87	0,18 07	0,18 22	
6	0,07 27	0,08 80	0,10 05	0,11 09	0,11 97	0,12 71	0,13 34	0,13 99	0,14 43	0,14 80	0,15 12	0,15 39	
7	0,02 40	0,04 33	0,05 93	0,07 25	0,08 37	0,09 32	0,10 13	0,10 92	0,11 5	0,12 01	0,12 45	0,12 83	
8			0,01 96	0,03 59	0,04 96	0,06 12	0,07 11	0,08 04	0,08 78	0,09 41	0,09 97	0,10 46	
9					0,01 63	0,03 03	0,04 22	0,05 30	0,06 18	0,06 96	0,07 64	0,08 23	
10							0,01 40	0,02 63	0,03 68	0,04 59	0,05 39	0,06 1	
11									0,01 22	0,02 28	0,03 21	0,04 03	

1 2											0,01 07	0,02 00	
1 3												0,00 00	
il n	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
1	0,44 07	0,43 66	0,43 28	0,42 91	0,42 54	0,42 20	0,41 88	0,41 56	0,41 27	0,40 96	0,40 68	0,40 40	
2	0,30 43	0,30 18	0,29 92	0,29 68	0,29 44	0,29 21	0,28 98	0,28 76	0,28 54	0,28 34	0,28 13	0,27 94	
3	0,25 33	0,25 22	0,25 10	0,24 99	0,24 87	0,24 75	0,24 63	0,24 51	0,24 39	0,24 27	0,24 15	0,24 03	
4	0,21 51	0,21 52	0,21 51	0,21 50	0,21 48	0,21 45	0,21 41	0,21 37	0,21 32	0,12 27	0,21 21	0,21 16	
5	0,18 36	0,18 48	0,18 57	0,18 64	0,18 70	0,18 74	0,18 78	0,18 80	0,18 82	0,18 83	0,18 83	0,18 83	
6	0,15 63	0,15 84	0,16 01	0,16 16	0,16 30	0,16 41	0,16 51	0,16 60	0,16 67	0,16 73	0,16 78	0,16 83	
7	0,13 16	0,13 46	0,13 72	0,13 95	0,14 15	0,14 33	0,14 49	0,14 63	0,14 75	0,14 87	0,14 96	0,15 05	
8	0,10 89	0,11 28	0,11 62	0,11 92	0,12 19	0,12 43	0,12 65	0,12 84	0,13 01	0,13 17	0,13 31	0,13 44	
9	0,08 76	0,09 23	0,09 65	0,10 02	0,10 36	0,10 66	0,10 93	0,11 18	0,11 40	0,11 60	0,11 79	0,11 96	
1 0	0,06 72	0,07 28	0,07 78	0,08 22	0,08 62	0,08 99	0,09 31	0,09 61	0,09 88	0,10 13	0,10 36	0,10 56	
1 1	0,04 76	0,05 40	0,05 98	0,06 5	0,06 97	0,07 39	0,07 77	0,08 12	0,08 44	0,08 73	0,09 00	0,09 24	
1 2	0,02 84	0,03 58	0,04 24	0,04 83	0,05 37	0,05 85	0,06 29	0,06 69	0,07 06	0,07 39	0,07 70	0,07 98	
1 3	0,00 94	0,01 78	0,02 53	0,03 2	0,03 81	0,04 35	0,04 85	0,05 30	0,05 72	0,06 10	0,06 45	0,06 77	
1 4		0,00 00	0,00 84	0,01 59	0,02 27	0,02 89	0,03 44	0,03 95	0,04 41	0,04 84	0,05 23	0,05 59	
1 5				0	0,00 76	0,01 44	0,02 06	0,02 62	0,03 14	0,03 61	0,04 04	0,04 44	
1 6						0,00 00	0,00 68	0,01 31	0,01 87	0,02 39	0,02 87	0,03 31	
1 7								0,00 00	0,00 62	0,01 19	0,01 72	0,02 20	

18										0,00 00	0,00 57	0,01 10	
19												0,00 00	
ì n	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	0,40 15	0,39 89	0,39 64	0,39 40	0,39 17	0,38 94	0,38 72	0,38 50	0,38 30	0,38 08	0,37 89	0,37 70	0,37 51
2	0,27 74	0,27 55	0,27 37	0,27 19	0,27 01	0,26 84	0,26 67	0,26 51	0,26 35	0,26 20	0,26 04	0,25 89	0,25 74
3	0,23 91	0,23 80	0,23 68	0,23 57	0,23 45	0,23 34	0,23 23	0,23 13	0,23 02	0,22 91	0,22 81	0,22 71	0,22 60
4	0,21 10	0,21 04	0,20 98	0,20 91	0,20 85	0,20 78	0,20 72	0,20 65	0,20 58	0,20 52	0,20 45	0,20 38	0,20 32
5	0,18 81	0,18 80	0,18 78	0,18 76	0,18 74	0,18 71	0,18 68	0,18 65	0,18 62	0,18 59	0,18 55	0,18 51	0,18 47
6	0,16 86	0,16 89	0,16 91	0,16 93	0,16 94	0,16 95	0,16 95	0,16 95	0,16 95	0,16 95	0,16 93	0,16 92	0,16 91
7	0,15 13	0,15 20	0,15 26	0,15 31	0,15 35	0,15 39	0,15 42	0,15 45	0,15 48	0,15 50	0,15 51	0,15 53	0,15 54
8	0,13 56	0,13 66	0,13 76	0,13 84	0,13 92	0,13 98	0,14 05	0,14 10	0,14 15	0,14 20	0,14 23	0,14 27	0,14 30
9	0,12 11	0,12 25	0,12 37	0,12 49	0,12 59	0,12 69	0,12 78	0,12 86	0,12 93	0,13 00	0,13 06	0,13 12	0,13 17
10	0,10 75	0,10 92	0,11 08	0,11 23	0,11 36	0,11 49	0,11 60	0,11 70	0,11 80	0,11 89	0,11 97	0,12 05	0,12 12
11	0,09 47	0,09 67	0,09 86	0,10 04	0,10 20	0,10 35	0,10 49	0,10 62	0,10 73	0,10 85	0,10 95	0,11 05	0,11 13
12	0,08 24	0,08 48	0,08 70	0,08 91	0,09 09	0,09 27	0,09 43	0,09 59	0,09 72	0,09 86	0,09 98	0,10 10	0,10 20
13	0,07 06	0,07 33	0,07 59	0,07 82	0,08 04	0,08 24	0,08 42	0,08 60	0,08 76	0,08 92	0,09 06	0,09 19	0,09 32
14	0,05 92	0,06 22	0,06 51	0,06 77	0,07 01	0,07 24	0,07 45	0,07 65	0,07 83	0,08 01	0,08 17	0,08 32	0,08 46
15	0,04 81	0,05 15	0,05 46	0,05 75	0,06 02	0,06 28	0,06 51	0,06 73	0,06 94	0,07 13	0,07 31	0,07 48	0,07 64
16	0,03 72	0,04 09	0,04 44	0,04 76	0,05 06	0,05 34	0,05 60	0,05 84	0,06 07	0,06 28	0,06 48	0,06 67	0,06 85
17	0,02 64	0,03 05	0,03 43	0,03 79	0,04 11	0,04 42	0,04 71	0,04 97	0,05 22	0,05 46	0,05 68	0,05 88	0,06 08

18	0,0158	0,0203	0,0244	0,0283	0,0318	0,0352	0,0383	0,0412	0,0439	0,0465	0,0489	0,0511	0,0532
19	0,0053	0,0101	0,0146	0,0188	0,0227	0,0263	0,0296	0,0328	0,0357	0,0385	0,0411	0,0436	0,0459
20		0,0000	0,0049	0,0094	0,0136	0,0175	0,0211	0,0245	0,0277	0,0307	0,0335	0,0361	0,0386
21				0,0000	0,0045	0,0087	0,0126	0,0163	0,0197	0,0229	0,0259	0,0288	0,0314
22						0,0000	0,0042	0,0081	0,0118	0,0153	0,0185	0,0215	0,0244
23								0,0000	0,0039	0,0076	0,0111	0,0143	0,0174
24										0,0000	0,0037	0,0071	0,0104
25												0,0000	0,0350

Fonte: Portal Action,2020

Anexo 02 : Valores críticos (Shapiro-Wilk)

	Nível de significância								
N	0,01	0,02	0,05	0,1	0,5	0,9	0,95	0,98	0,99
3	0,753	0,756	0,767	0,789	0,959	0,998	0,999	1,000	1,000
4	0,687	0,707	0,748	0,792	0,935	0,987	0,992	0,996	0,997
5	0,686	0,715	0,762	0,806	0,927	0,979	0,986	0,991	0,993
6	0,713	0,743	0,788	0,826	0,927	0,974	0,981	0,986	0,989
7	0,730	0,760	0,803	0,838	0,928	0,972	0,979	0,985	0,988
8	0,749	0,778	0,818	0,851	0,932	0,972	0,978	0,984	0,987
9	0,764	0,791	0,829	0,859	0,935	0,972	0,978	0,984	0,986
10	0,781	0,806	0,842	0,869	0,938	0,972	0,978	0,983	0,986
11	0,792	0,817	0,850	0,876	0,940	0,973	0,979	0,984	0,986
12	0,805	0,828	0,859	0,883	0,943	0,973	0,979	0,984	0,986
13	0,814	0,837	0,866	0,889	0,945	0,974	0,979	0,984	0,986
14	0,825	0,846	0,874	0,895	0,947	0,975	0,980	0,984	0,986

15	0,835	0,855	0,881	0,901	0,950	0,975	0,980	0,984	0,987
16	0,844	0,863	0,887	0,906	0,952	0,976	0,981	0,985	0,987
17	0,851	0,869	0,892	0,910	0,954	0,977	0,981	0,985	0,987
18	0,858	0,874	0,897	0,914	0,956	0,978	0,982	0,986	0,988
19	0,863	0,879	0,901	0,917	0,957	0,978	0,982	0,986	0,988
20	0,868	0,884	0,905	0,920	0,959	0,979	0,983	0,986	0,988
21	0,873	0,888	0,908	0,923	0,960	0,980	0,983	0,987	0,989
22	0,878	0,892	0,911	0,926	0,961	0,980	0,984	0,987	0,989
23	0,881	0,895	0,914	0,928	0,962	0,981	0,984	0,987	0,989
24	0,884	0,898	0,916	0,930	0,963	0,981	0,984	0,987	0,989
25	0,888	0,901	0,918	0,931	0,964	0,981	0,985	0,988	0,989
26	0,891	0,904	0,920	0,933	0,965	0,982	0,985	0,988	0,989
27	0,894	0,906	0,923	0,935	0,965	0,982	0,985	0,988	0,990
28	0,896	0,908	0,924	0,936	0,966	0,982	0,985	0,988	0,990
29	0,898	0,910	0,926	0,937	0,966	0,982	0,985	0,988	0,990
30	0,900	0,912	0,927	0,939	0,967	0,983	0,985	0,988	0,990
31	0,902	0,914	0,929	0,940	0,967	0,983	0,986	0,988	0,990
32	0,904	0,915	0,930	0,941	0,968	0,983	0,986	0,988	0,990
33	0,906	0,917	0,931	0,942	0,968	0,983	0,986	0,989	0,990
34	0,908	0,919	0,933	0,943	0,969	0,983	0,986	0,989	0,990
35	0,910	0,920	0,934	0,944	0,969	0,984	0,986	0,989	0,990
36	0,912	0,922	0,935	0,945	0,970	0,984	0,986	0,989	0,990
37	0,914	0,924	0,936	0,946	0,970	0,984	0,987	0,989	0,990
38	0,916	0,925	0,938	0,947	0,971	0,984	0,987	0,989	0,990
39	0,917	0,927	0,939	0,948	0,971	0,984	0,987	0,989	0,991
40	0,919	0,928	0,940	0,949	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
41	0,920	0,929	0,941	0,950	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
42	0,922	0,930	0,942	0,951	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
43	0,923	0,932	0,943	0,951	0,973	0,985	0,987	0,990	0,991

44	0,924	0,933	0,944	0,952	0,973	0,985	0,987	0,990	0,991
45	0,926	0,934	0,945	0,953	0,973	0,985	0,988	0,990	0,991
46	0,927	0,935	0,945	0,953	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
47	0,928	0,936	0,946	0,954	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
48	0,929	0,937	0,947	0,954	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
49	0,929	0,938	0,947	0,955	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
50	0,930	0,939	0,947	0,955	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991

Fonte: Portal Action,2020

Anexo 03: Simulações em excel

Ao longo do trabalho foram realizadas diversas simulações utilizando o Microsoft Excel e a linguagem de programação Visual Basic for Applications (VBA). Todas as planilhas e códigos utilizados estão disponíveis para download pelo link:

<https://drive.google.com/drive/folders/1omMK3LgeglC6ePViHd0D3g6PyH-Fjt9V?usp=sharing>

